

VŠB – Technická univerzita Ostrava

Fakulta stavební

Katedra konstrukcí staveb

Návrh železobetonové konstrukce polyfunkčního domu

Design of multifunctional house's reinforced concrete structure

Student:

Adéla Rakowská

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Pavlína Matečková, Ph.D.

Ostrava

2016

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta stavební
Katedra konstrukcí

Zadání bakalářské práce

Student: **Adéla Rakowská**
Studijní program: B3607 Stavební inženýrství
Studijní obor: 3607R037 Konstrukce staveb
Téma: **Návrh železobetonové konstrukce polyfunkčního domu**
Design of multifunctional house's reinforced concrete structure
Jazyk vypracování: čeština

Zásady pro vypracování:

V rámci bakalářské práce bude zpracován návrh nosné železobetonové konstrukce dle projektové dokumentace pro polyfunkční dům v Bystřici podle platných norem pro navrhování. Práce bude obsahovat návrh a posouzení nosné rámové konstrukce, plošné konstrukce stropů a návrh konstrukce schodiště. Model konstrukce bude zpracován v softwaru na bázi MKP. Pro posouzené prvky budou zpracovány výkresy tvaru a výztuže. V práci bude zpracována studie nevhodové návrhové situace pro zatížení výbuchem.

Seznam doporučené odborné literatury:

ČSN EN 1991 Eurokód 1: Zatížení stavebních konstrukcí.
ČSN EN 1992-1-1 Eurokód 2: Navrhování betonových konstrukcí, Část 1-1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby.


Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

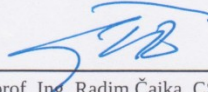
Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Pavlína Matečková, Ph.D.**

Datum zadání: 31.10.2015

Datum odevzdání: 02.05.2016




doc. Ing. Antonín Lokaj, Ph.D.
vedoucí katedry


prof. Ing. Radim Čajka, CSc.
děkan fakulty

Prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracovala samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedla jsem všechny použité podklady a literaturu.

Pro účely bakalářské práce mi byly poskytnuty podklady od firem STATIC Solution s.r.o. a FIALA ARCHITECTS s.r.o. společností Třinecký inženýring a.s.

V Ostravě dne 2. 5. 2016



.....
podpis studenta

Prohlašuji:

- byla jsem seznámena s tím že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. - autorský zákon, zejména § 35 - užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 - školní dílo.
- беру на вѣдомі, же Высoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB-TUO) má právo nevýdělečné ke své vnitřní potřebě bakalářskou práci užít (§ 35 odst. 3).
- Souhlasím s tím, že údaje o bakalářské práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo - bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- беру на вѣдомі, же odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách) ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby

V Ostravě dne 2. 5. 2016

Poděkování

Velice děkuji své vedoucí práce paní Ing. Pavlíně Matečkové, Ph.D. za její čas, ochotu, trpělivost a poskytnutí odborných rad během zpracovávání bakalářské práce.

Dále bych ráda poděkovala panu doc. Ing. Petrovi Konečnému, Ph. D. za konzultace ohledně nehodové návrhové situace.

Děkuji všem zmíněným firmám za poskytnutí podkladů pro mou práci a také rodině, za podporu ve studiu a to především svému drahému manželovi.

Anotace

Stěžejní částí této práce je statický výpočet železobetonového skeletu polyfunkčního domu. Zahrnuje návrh a posouzení stropních konstrukcí, sloupů, průvlaků a schodišť dle platných norem. Navržené konstrukce jsou z betonu C 25/30 vyztužené betonářskou ocelí B 500 B. Na závěr je uvedena studie pravděpodobnostního posudku navrženého trámu na nehodovou situaci výbuchu kotle. Při vypracování bakalářské práce byly použity výpočetní programy Scia Engineer, Matlab a Anthill a HistAn. V rámci práce byly zhotoveny výkresy výztuží v programu AutoCad.

RAKOWSKÁ, Adéla. *Návrh železobetonové konstrukce polyfunkčního domu*. Ostrava, 2016. Bakalářská práce, 126 stran. VŠB - Technická univerzita Ostrava, Fakulta stavební, Katedra konstrukcí. Vedoucí práce: Ing. Pavlína Matečková, Ph. D.

Klíčová slova

železobetonový skelet, stropní deska, sloup, průvlak, schodiště, výztuž, Scia Engineer, mezní stav únosnosti, pravděpodobnost

Annotation

Main part of this work is the structural analysis of reinforced concrete frame structure of multifunctional building. Thesis consist of design and assessment of ceiling structures, columns, beams and staircases according to valid codes. Designed structures are made of concrete C 25/30 and reinforced with steel B 500 B. At the end there is probabilistic assessment of one particular beam to exposed to accidental load caused by boiler explosion. For this thesis were used Scia Engineer, Matlab, Anthill and HistAn. Also the drawings of shoring are made using AutoCad.

Keywords

reinforced concrete frame, floor slab, column, beam, stairs, reinforcement, Scia Engineer, serviceability limit state, probability

OBSAH

ÚVOD	11
1 KONSTRUKČNÍ SYSTÉM OBJEKTU	12
1.1 SKUTEČNÝ KONSTRUKČNÍ SYSTÉM	12
1.1.1 Část A	13
1.1.2 Část B	13
1.2 ÚPRAVY KONSTRUKCE PRO ÚČEL BAKALÁŘSKÉ PRÁCE	14
2 STROPNÍ DESKY	15
2.1 Základní údaje	15
2.2 Zatížení.....	16
2.3 Rozložení zatížení do směrů	17
2.4 Výztuž ve směru x.....	18
2.4.1 Návrh výztuže	21
2.4.2 Posudek	22
2.4.3 Konstrukční zásady	23
2.5 Výztuž ve směru y.....	25
2.5.1 Návrh konstrukce.....	27
2.5.2 Posudek	28
2.5.3 Konstrukční zásady	28
2.6 Stropní desky ve vyšších podlažích	30
2.7 Kontrola ohybové štíhlosti	31
3 ZATÍŽENÍ NA RÁMECH	33
3.1 Krajní rám ve směru x.....	34
3.2 Střední rám ve směru x.....	49
3.3 Rám ve směru y	54
4 SLOUPY.....	60
4.1 Návrh	60
4.2 Posouzení - interakční diagram	62
4.2.1 Sloupy v krajním rámu	65
4.2.2 Sloupy ve středním rámu	69
4.2.3 Sloupy rámu ve směru y	72
4.3 Konstrukční zásady.....	76
4.4 Mezní stav použitelnosti.....	83
5 TRÁMY.....	84
5.1 Ohyb.....	84
5.2 Konstrukční zásady.....	90

5.3	Smyk	92
5.3.1	Návrhová únosnost ve smyku bez smykové výztuže	92
5.3.2	Návrhová únosnost prvku se smykovou výztuží	96
5.4	Mezní ohybová štíhlost	98
6	SCHODIŠTĚ.....	99
6.1	Zatížení.....	99
6.2	Vnitřní síly	101
6.3	Návrh a posudek vyztužení.....	105
6.4	Konstrukční zásady.....	109
7	STUDIE NEHODOVÉ NÁVRHOVÉ SITUACE PRO ZATÍŽENÍ	
	VÝBUCHEM	112
7.1	Teoretické podklady pro výpočet	112
7.2	Místo vzniku maximálního ohybového momentu obecně	113
7.3	Výpočet	117
7.4	Zhodnocení	123
8	ZÁVĚR.....	124
	ZDROJE.....	125
	PŘÍLOHY	126

Seznam použitého značení

Velká písmena latinské abecedy

A_c	.....průřezová plocha betonu
$A_{s,req}$	.....požadovaná plocha výztuže
$A_{s,max}$	.....maximální plocha výztuže
$A_{s,min}$	.....minimální plocha výztuže
$A_{s,prov}$	.....skutečná plocha výztuže
A_s	.....plocha výztuže
A_{sl}	.....plocha tahové výztuže zasahující do podpory
A_{sw}	.....plocha výztuže třmínku
C_e	.....součinitel expozice
C_t	.....tepelný součinitel
E_s	.....modul pružnosti betonářské oceli
E	.....modul pružnosti oceli
EI	.....ohybová tuhost
F	.....bodové zatížení
F_s	.....síla ve výztuži
FS	.....funkce spolehlivosti
I	.....moment setrvačnosti
I_v	.....intenzita turbulence
K	.....součinitel zohledňující typ nosného systému
L	.....délka
$M_{01,2}$	.....koncový moment prvního řádu
$M_{Ed,max}$	.....návrhová hodnota momentu
M_{Rd}	.....moment únosnosti
$N_{Ed,max}$	.....návrhová normálová síla
N_{Rd}	.....normálová únosnost
R	.....odolnost konstrukce
S	.....účinek zatížení
V_{Ed}	.....návrhová posouvající síla
$V_{Rd,c}$	.....návrhová únosnost ve smyku bez smykové výztuže
$V_{Rd,s}$	.....posouvající síla, kterou přeneseme smyková výztuž na mezi kluzu

Malá písmena latinské abecedy

b	.....šířka
c_0	.....součinitel ortografie
c_{dev}	.....toleranční zvětšení
c_{dir}	.....součinitel směru větru

$c_{min,sw}$	.....minimální krycí vrstva třmínků
c_{min}	.....minimální krycí vrstva hlavní výztuže
c_{nom}	.....jmenovitá hodnota tloušťky betonové krycí vrstvy
c_{pe}	.....součinitel vnějšího tlaku
c_{pi}	.....součinitel vnitřního tlaku
c_r	.....součinitel drsnosti
c_{season}	.....součinitel ročního období
d	.....účinná výška průřezu
f_{cd}	.....návrhová pevnost betonu v tlaku
f_{ck}	.....charakteristická pevnost betonu v tlaku
$f_{ctk0,05}$	.....charakteristická pevnost betonu v tahu (5% kvantil)
f_{ctm}	.....pevnost betonu v tahu
f_{yd}	.....návrhová pevnost oceli v tahu na mezi kluzu
f_{yk}	.....charakteristická pevnost oceli v tahu na mezi kluzu
g_d	.....návrhová hodnota rovnoměrného spojitého stálého zatížení
g_k	.....charakteristická hodnota rovnoměrného spojitého stálého zatížení
h	.....výška
i	.....poloměr setrvačnosti betonového průřezu bez trhlin
$k_1\sigma_{cp}$	.....příznivý vliv normálové síly
k_1	.....součinitel turbulence
k_r	.....součinitel terénu
l	.....délka
l_0	.....účinná délka
$l_{bd,min}$	.....minimální kotevní délka
$l_{bd,rqd}$	.....požadovaná kotevní délka
$l_{bd,rqd}$	.....základní kotevní délka
l_{bd}	.....kotevní délka
n	.....poměrná normálová síla
p_2^+	.....hodnota tlaku pro pozemní výbuch

p_dcharakteristická hodnota součtu
spojitého stálého a nahodilého zatížení
 p_kcharakteristická hodnota součtu
spojitého stálého a nahodilého zatížení
 q_bzákladní tlak větru
 q_dnávrhová hodnota rovnoměrného
spojitého nahodilého zatížení
 q_kcharakteristická hodnota
rovnoměrného spojitého nahodilého zatížení
 q_pcharakteristický maximální
dynamický tlak
 q_vnahodilé zatížení od tlakové vlny
při výbuchu
 r_mpoměr momentů
 sosová vzdálenost výztuže
 s_kcharakteristická hodnota zatížení
sněhem
 $v_{b,0}$výchozí základní rychlost větru
 v_bzákladní rychlost větru
 v_mstřední rychlost větru
 w_kvýsledná hodnota tlaku větru
 w_xprůhyb ve směru x
 w_yprůhyb ve směru y
 xvýška tlačené oblasti
 x_{bal}výška tlačené oblasti při dosažení
meze kluzu v tažené výztuži
 z_0parametr drsnosti terénu
 z_ereferenční výška
 z_{min}minimální výška

δ_{lim}limitní průhyb
 ε_{cu}poměrné přetvoření betonu
 ε_{s1}poměrné přetvoření výztuže
 ε_{yd}poměrné přetvoření oceli
 ξsoučinitel poměrných
přetvoření
 ηsoučinitel pevnosti betonu
 η_1součinitel vyjadřující kvalitu
podmínek v soudržnosti a poloze prutu
 η_2součinitel zohledňující vliv
průměru prutu
 λ_{lim}mezí poměr rozpětí k účinné
výšce
 μ_1tvarový součinitel zatížení
větrem
 ρstupeň vyztužení / hustota
vzduchu
 ρ'požadovaný stupeň vyztužení
tlakovou výztuží
 ρ_0referenční stupeň vyztužení
 σ_snapětí ve výztuži
 ϕprůměr výztuže
 ωmechanický stupeň vyztužení

Písmena řecké abecedy

αúhel sklonu střechy
 α_1vliv tvaru prutu za předpokladu
odpovídající krycí vrstvy betonu
 α_2vliv minimální betonové krycí
vrstvy
 α_3vliv ovinutí příčnou výztuží
 α_4vliv jednoho nebo více příčné
přivařených prutů
 α_5vliv tlaku kolmého na rovinu
odštěpování betonu
 γ_gsoučinitel stálého zatížení
 γ_Msoučinitel spolehlivosti materiálu
 δprůhyb

ÚVOD

Pro svou práci jsem si vybrala polyfunkční dům v Bystřici nad Olší. Jedná se o novostavbu, jenž byla zkolaudována na přelomu roku 2015 a 2016. Tento projekt mne zaujal, neboť přispěje ke zlepšení života v obci a jistě se stane její významnou dominantou. Doposud byl považován za centrum obce kruhový objezd u obecního úřadu. Dopravní objekt je ale přece jen trochu nedostačujícím prvkem pro vytvoření centra. Centrum má především sloužit potřebám občanů a proto bylo cílem postavit objekt s občanskou vybaveností.

Stavba výrazně změnila vzhled svého blízkého okolí. Byla vybudována na nevyužitém pozemku, avšak zeleně neubrala. Právě naopak - na pozemku byl pouze jediný vzrostlý strom. Ten zůstal zachován a již jsou v prostoru před objektem připraveny plochy pro zatravnění a výsadbu keřů a stromů. V rámci její výstavby došlo také ke zrenovování stávajícího parkoviště u obecního úřadu. Navíc je součástí stavby nové parkoviště, jenž by mělo vyřešit dosud nedostačující kapacitu parkovacích míst. Mimoto došlo k přesunu autobusové zastávky o pár metrů blíž k objektu a lidé tak mohou k čekání na autobus využít lavičky v nově vzniklém náměstíčku. Při projektování stavby se myslelo i na to, aby nebyla překážkou na trase mezi zastávkou a základní školou či rodinnými domy a lze skrz ní projít dvěma širokými průchody.

V polyfunkčním domě se pomalu zařizují dva praktičtí lékaři, zubař, gynekolog a fyzioterapeut. Dále je v plánu lékárna, kadeřnictví, sportovní bar, prodejna bytových doplňků a butik. Kromě služeb je zde 21 bytových jednotek, od 2 + kk až po 4 + kk. Deset bytů je dvoupodlažních s obytným podkrovím - tzv. mezonety.

V první části mé práce popisují konstrukční systém stavby a má zjednodušení. V hlavní části mé práce jsou zpracovány návrhy a posudky jednotlivých řešených konstrukcí dle platných norem. Součástí výpočtů je také ověření konstrukčních zásad. Poslední část je věnovaná nehodové situaci. Zabývám se případný výbuchem a jeho následky na jeden z navrhovaných konstrukčních prvků. V žádném případě bych tuto situaci nechtěla přivolat, vybrala jsem si ji pouze proto, neboť mne zaujala pravděpodobnostní metoda posuzování konstrukcí.

Mým cílem bude navrhnout a posoudit nosnou železobetonovou konstrukci části budovy. Budu zpracovávat návrh a posudek nosné rámové konstrukce, plošné konstrukce stropů a návrh schodiště. A následně vypracuji studii na posudek jednoho z navržených průvlaků na nehodovou návrhovou situaci výbuchu kotle s použitím pravděpodobnostní metody výpočtu.

1 KONSTRUKČNÍ SYSTÉM OBJEKTU

1.1 SKUTEČNÝ KONSTRUKČNÍ SYSTÉM

Polyfunkční dům v Bystřici je moderní novostavba. Její půdorys má tvar písmene L a její křídla jsou označena jako část A a část B. Část A je nepodsklepená, o čtyřech nadzemních podlažích a založena na základovém roštu. Část B, založena na základové desce, má jedno podzemní a 5 nadzemních podlaží. Nosnou konstrukci horní stavby v prvním podlaží tvoří skeletový systém, ztužený železobetonovými jádry v prostorách schodišť. Ve vyšších podlažích je nosná konstrukce tvořena stěnovým systémem. Obě části budovy jsou zastřešeny sedlovými střechami se sklonem 43°.

Betonové konstrukce jsou z betonu C16/20, C20/25, C25/30 a C30/37 s betonářskou výztuží B 500B. Ocelové konstrukce zastoupené ocelovými rámy ve 4.NP jsou z typových řad válcovaných prvků z ocelí S235, S355 a S320. Na konstrukci krovu bylo použito dřevo C24.



Obrázek 1.1 Fotografie objektu

1.1.1 Část A

Tato část budovy je nižší, a proto z důvodu rozdílného sedání tvoří samostatný dilatační celek. Je založena na základovém roštu s odstupňovanými pásy. Není podsklepená, má čtyři podlaží včetně obytného podkroví. Nosnou konstrukci v prvním podlaží tvoří skeletový systém. V dalších podlažích je nosná konstrukce tvořena stěnovým systémem.

V části A je bezbariérově přístupné pouze přízemí na úrovni terénu. Zde se nacházejí komerční prostory, využité jako sportbar a kadeřnictví a jejich technická a sociální zázemí. Ve vyšších patrech se nachází 6 bytových jednotek, z nichž 3 jsou mezonetové byty s obytným podkrovím.

1.1.2 Část B

Část B je podstatně rozsáhlejší. Nejen počtem podlaží ale také délkou, proto je rozdělena do dvou dilatačních celků z důvodu objemových změn. Dilatace tedy prochází všemi konstrukcemi s výjimkou základové desky. Podloubí je založeno na základovém páse. Tato část má jedno podzemní a pět nadzemních podlaží včetně obytného podkroví. Nosnou konstrukci v podzemním podlaží tvoří monolitické sloupy a stěny. V prvním nadzemním podlaží plní nosnou funkci skelet doplněný ztužujícími jádry a ve 2. a 3. patře je nosný stěnový systém. Ztužujícími jádry jsou vedena prefabrikovaná schodiště, která jsou celkem tři. Jedno pro přístup do pater části A. Hlavní schodiště, které zajišťuje dostupnost ordinací a kanceláří je doplněno výtahem, jehož šachta je oddělena dilatací od stropních konstrukcí. Stropní desky jsou monolitické v tloušťkách 200 mm a 250 mm. Ve 4. nadzemním podlaží tvoří podpůrnou konstrukci stropu ocelové rámy se zkosenými rámovými rohy z válcovaných profilů HE260A a HE206B. Na těchto rámech jsou uloženy stropnice z profilů I 160 a trapézový plech, tvořící ztracené bednění železobetonové desky tloušťky 90 mm.

Spodní stavbu objektu tvoří jedno podzemní podlaží, kde se nachází sklepní kóje, sklady prodejen a technické zázemí objektu. Přízemní prostory jsou využity jako prodejní plochy. V patře jsou ordinace lékařů, kanceláře a jedna bytová jednotka. Ordinace a kanceláře jsou bezbariérově přístupné výtahem, stejně jako byty ve 3. a 4. podlaží daného dilatačního celku. Ve třetím podlaží je 7 bytových jednotek a ve čtvrtém 7 mezonetových bytů.

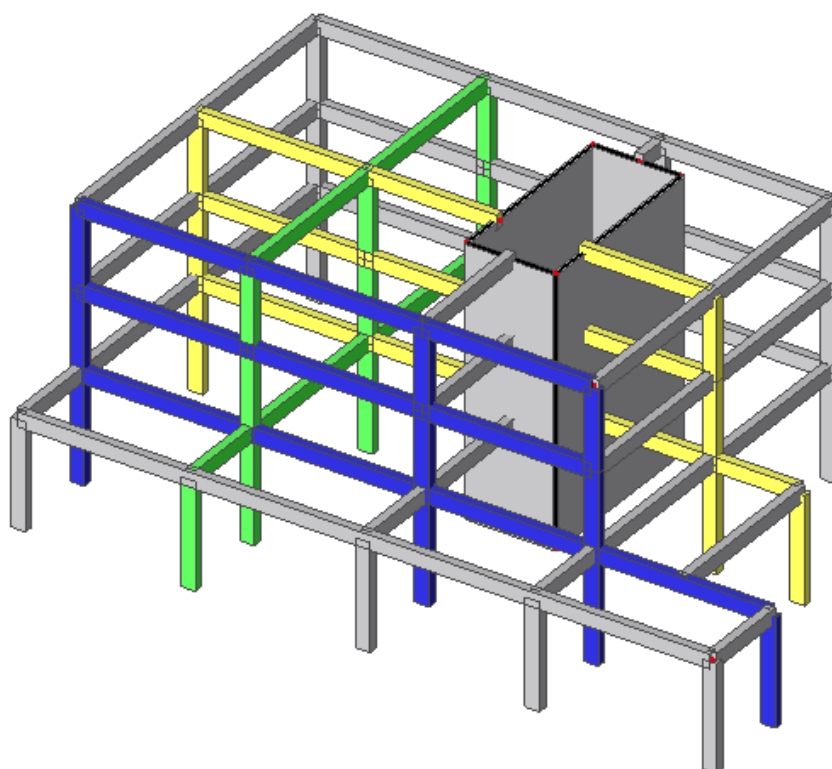
Tato kapitola byla vytvořena dle přiložené technické zprávy.

1.2 ÚPRAVY KONSTRUKCE PRO ÚČEL BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

V rámci práce se budu zabývat jedním dilatačním celkem části B. Budu uvažovat, že tato část je nepodsklepená. Skeletový systém, který je reálně pouze v přízemí navrhnu také ve druhém a třetím patře. Mnou uvažovaný skelet je třípatrová rámová konstrukce o třech polích v podélném a dvou polích v příčném směru, k němuž je připojeno podloubí. Pravidelnost skeletu je narušena železobetonovým jádrem (viz. schéma). Řešené rámy jsou na obrázku vyznačeny barevně a pojmenovány následovně: krajní (vyznačen modře), střední (vyznačen žlutě) a rám ve směru y (vyznačen zeleně). Co se týká podloubí, budu uvažovat, že jsou na něm pouze terasy a není na něj předsazená obvodová zeď.

Veškeré konstrukce, kterými se zabývám, budou navrženy jako monolitické z betonu C 25/30, vyztužené betonářskou výztuží B 500 B. Ve své práci nebudu uvažovat konstrukce balkonů.

Pro účely studie nehodové situace byla přesunuta kotelna z podzemního podlaží do přízemí, aby byla možné aplikace na jeden z navržených trámů.



Obrázek 1.2 Model uvažovaného skeletu s vyznačením řešených ráků

2 STROPNÍ DESKY

Předmětem této kapitoly je návrh a posudek konstrukce stropů polyfunkčního domu dle platných norem pro navrhování. Pro výpočet byl použit program Scia Engineer 15.2.

Bylo obtížné vystihnout uložení stropní desky v místě kde prochází dilatace, jenž je provedena pomocí smykových trnů SLD. Metodou třímomentových rovnic byly porovnány hodnoty vnitřních sil pro prosté uložení a vetknutí. Pro návrh stropní desky vycházely vnitřní síly méně příznivé v případě prostě podepřeného okraje a proto je v místě dilatace deska uvažovaná jako prostě podepřená.

Skladba podlahy je ve všech patrech shodná, rozdílné je pouze užité zatížení. Rozdíl celkového zatížení na stropní desku nad přízemím a zatížením nad dalšími patry je pouze 7 %. Užité zatížení na strop nad přízemím je vyšší jelikož se ve druhém patře nacházejí kancelářské prostory. Není vyloučeno, že se v budoucnu obytné prostory nezmění také na kancelářské. Stropní desky navrhují v přízemí, druhém a třetím patře stejné. V závěru kapitoly je provedeno ověření, zda desky ve vyšších patrech vyhoví.

2.1 Základní údaje

Tloušťka stropní desky

Pro předběžný návrh tloušťky spojitě, křížem vyztužené desky platí vztah[4]:

$$h = \frac{l_y + l_x}{105} \quad (2.1)$$

$$h = \frac{5,825 + 6,030}{105} = 0,113 \text{ m}$$

Tloušťku stropní desky volím 200 mm především z důvodu konstrukčních zásad.

Materiál

Třída betonu: C25/30

$$f_{ck} = 25 \text{ MPa}$$

$$f_{cd} = \frac{f_{ck}}{\gamma_M} = \frac{25}{1,5} = 16,67 \text{ MPa}$$

Třída oceli: B 500 B

$$f_{yk} = 500 \text{ MPa}$$

$$f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_M} = \frac{500}{1,15} = 434,783 \text{ MPa}$$

Krytí výztuže

Stupeň vlivu prostředí: suché \Rightarrow XC1

konstrukční třída: S4 \Rightarrow objekty o návrhové životnosti 50 let

Předběžný průměr výztuže: 8 mm

Pro jmenovitou hodnotu tloušťky betonové krycí vrstvy platí vztah:

$$c_{nom} = c_{min} + \Delta c_{dev} \quad (2.2)$$

$$c_{min} = \max(c_{min,b}; c_{min,dur} + \Delta c_{dur,\gamma} - \Delta c_{dur,st} - \Delta c_{dur,add}; 10 \text{ mm}) \quad (2.3)$$

$$c_{min,b} \geq \emptyset \Rightarrow c_{min,b} = 8 \text{ mm}$$

$$c_{min,dur} = 15 \text{ mm}$$

$$\Delta c_{dur,\gamma}; \Delta c_{dur,st}; \Delta c_{dur,add} = 0$$

Dosazení do vztahu 2.3:

$$c_{min} = \max(8; 15; 10 \text{ mm}) = 15 \text{ mm}$$

Pro monolitické konstrukce platí:

$$\Delta c_{dev} = 5 \div 10 \text{ mm}$$

Dosazení do vztahu 2.2:

$$c_{nom} = c_{min} + \Delta c_{dev} = 15 + 10 = 25 \text{ mm}$$

2.2 ZatíženíStálé zatížení

popis	g_k [kN/m ²]	γ_g [–]	g_d [kN/m ²]
Keramická dlažba, tl. 15 mm, $\rho = 2200 \text{ kg/m}^3$	0,330	1,35	0,446
Vyrovnávací nivelační stěrka, tl. 5 mm, $\rho = 1950 \text{ kg/m}^3$	0,098	1,35	0,132
Cementový potěr + podlahové topení, tl. 75 mm, $\rho = 2500 \text{ kg/m}^3$	1,875	1,35	2,531
Tepelná a kročejová izolace EPS 150, tl. 60 mm, $\rho = 23 \text{ kg/m}^3$	0,014	1,35	0,019
Vlastní tíha ŽB desky, tl. 200 mm, $\rho = 2500 \text{ kg/m}^3$	5	1,35	6,75
SDK podhled, tl. 12,5 mm, $\rho = 750 \text{ kg/m}^3$	0,094	1,35	0,127
Omítka, tl. 10 mm, $\rho = 1800 \text{ kg/m}^3$	0,18	1,35	0,243
Přemístitelné příčky, vlastní tíha $\leq 3 \text{ kN/m}$	1,2	1,35	1,62
Σ	8,79		11,867

Tabulka 2.1 Stálé zatížení na stropních deskách

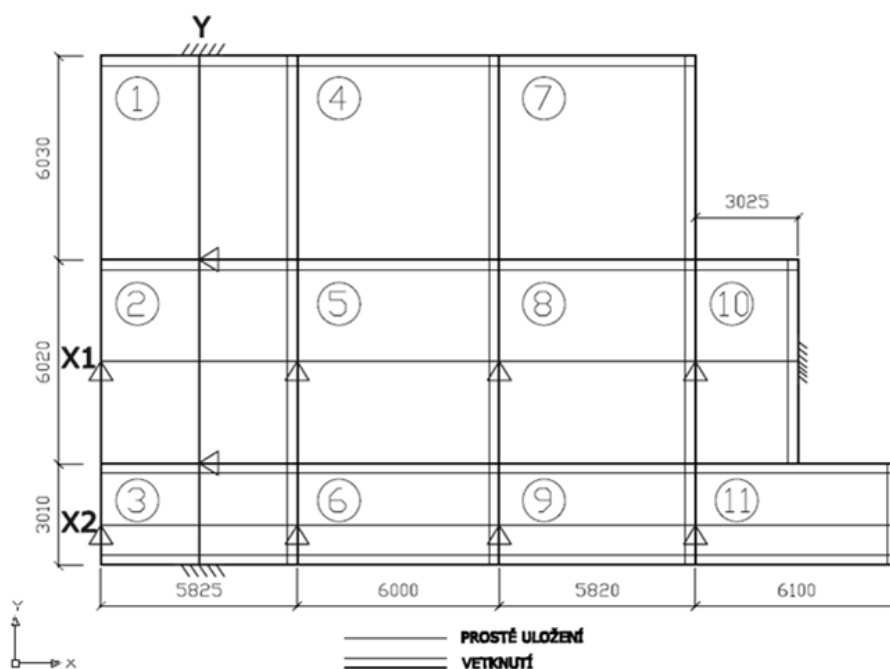
Nahodilé - užiténé zatížení

popis	q_k [kN/m ²]	γ_q [–]	q_d [kN/m ²]
Kancelářské prostory - kategorie B	3,0	1,5	4,5

Tabulka 2.2 Užiténé zatížení na stropních deskách

	p_k [kN/m ²]		p_d [kN/m ²]
CELKEM	11,79		16,367

Tabulka 2.3 Celkové zatížení na stropních deskách



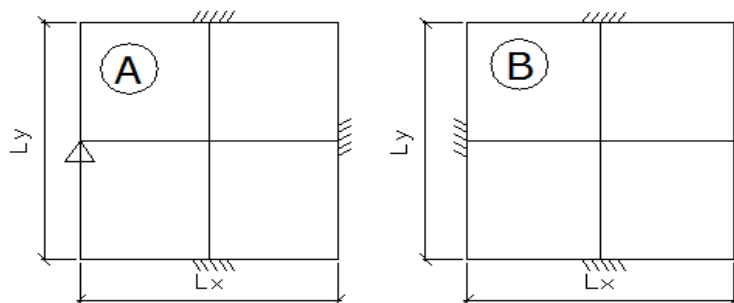
Obrázek 2.1 Schéma spojitě desky nad přízemím s vyznačením řešených spojitých nosníků

2.3 Rozložení zatížení do směrů

Jelikož jsou jednotlivé desky nad přízemím téměř čtvercového tvaru, zatížení se roznáší oběma směry. Jsou tedy křížem vyztužené a výpočet rozložení zatížení je založen na skutečnosti, že průhyb je v obou směrech shodný.

$$w_x = w_y \quad (2.4)$$

V tomto případě jsou pouze dva typy schémat jednotlivých polí:



Obrázek 2.2 Typy schémat

Rovnice průhybu

Pro nosník na jedné straně podepřený prostým podepřením a na druhé straně vetknutý je rovnice průhybu daná vztahem 2.5[5]:

$$w = \frac{2}{384} \cdot \frac{p \cdot L^4}{EI} \quad (2.5)$$

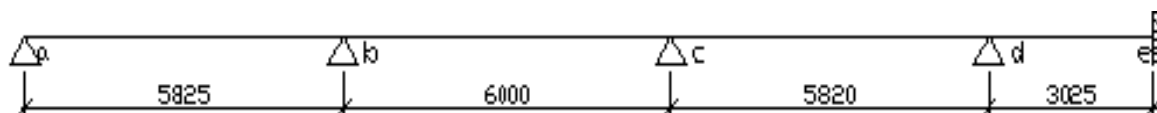
Pro průhyb nosníku oboustraně vetknutého je dán vztah 2.6:

$$w = \frac{1}{384} \cdot \frac{p \cdot L^4}{EI} \quad (2.6)$$

2.4 Výztuž ve směru x

Statické schéma

Spojitý nosník X1 je veden přes pole č. 2, 5, 8 a 10.



Obrázek 2.3 Schéma nosníku X1

Rozložení zatížení do směrů

Rozměry desek jsou patrné z obrázku 2.1.

Deska 2

Deska 2 má zatěžovací dle obrázku 2.2 schéma typu A. Pro výpočet rozložení zatížení do směrů se do vztahu 2.4 tedy dosadí vztahy 2.5 a 2.6

$$\frac{2}{384} \cdot \frac{p_x \cdot L_x^4}{EI} = \frac{1}{384} \cdot \frac{p_y \cdot L_y^4}{EI} \quad (2.7)$$

Vyjádření velikosti zatížení ve směru x:

$$p_x = \frac{L_y^4}{2 \cdot L_x^4 + L_y^4} \cdot p \quad (2.8)$$

Výpočet složky stálého zatížení:

$$g_{dx} = \frac{L_y^4}{2 \cdot L_x^4 + L_y^4} \cdot g_d = \frac{6,02^4}{2 \cdot 5,825^4 + 6,02^4} \cdot 11,867 = 4,31 \frac{kN}{m^2} \quad (2.9)$$

Výpočet složky užitého zatížení:

$$q_{dx} = \frac{L_y^4}{2 \cdot L_x^4 + L_y^4} \cdot q_d = \frac{6,02^4}{2 \cdot 5,825^4 + 6,02^4} \cdot 4,5 = 1,634 \frac{kN}{m^2} \quad (2.10)$$

Deska 5

Deska 5 má zatěžovací schéma typu B. Pro výpočet rozložení zatížení do směrů se dosadí do vztahu 2.4 za oba průhyby vztah 2.6:

$$\frac{1}{384} \cdot \frac{p_x \cdot L_x^4}{EI} = \frac{1}{384} \cdot \frac{p_y \cdot L_y^4}{EI}$$

Vyjádření velikosti zatížení ve směru x:

$$p_x = \frac{L_y^4}{L_x^4 + L_y^4} \cdot p \quad (2.11)$$

Výpočet složky stálého zatížení:

$$g_{dx} = \frac{L_y^4}{L_x^4 + L_y^4} \cdot g_d = \frac{6,02^4}{6^4 + 6,02^4} \cdot 11,867 = 5,973 \frac{kN}{m^2} \quad (2.12)$$

Výpočet složky užitého zatížení:

$$q_{dx} = \frac{L_y^4}{L_x^4 + L_y^4} \cdot q_d = \frac{6,02^4}{6^4 + 6,02^4} \cdot 4,5 = 2,265 \frac{kN}{m^2} \quad (2.13)$$

Deska 8

Deska 8 má zatěžovací schéma také B, a proto pro velikost zatížení ve směru x platí vztah 2.11.

Výpočet složky stálého zatížení:

$$g_{dx} = \frac{L_y^4}{L_x^4 + L_y^4} \cdot g_d = \frac{6,02^4}{5,820^4 + 6,02^4} \cdot 11,867 = 6,334 \frac{kN}{m^2} \quad (2.14)$$

Výpočet složky užitého zatížení:

$$q_{dx} = \frac{L_y^4}{L_x^4 + L_y^4} \cdot q_d = \frac{6,02^4}{5,820^4 + 6,02^4} \cdot 4,5 = 2,402 \frac{kN}{m^2} \quad (2.15)$$

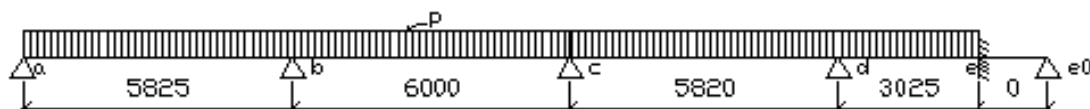
Deska 10

Výpočet složky stálého zatížení se vypočítá obdobně jako u desky 8:

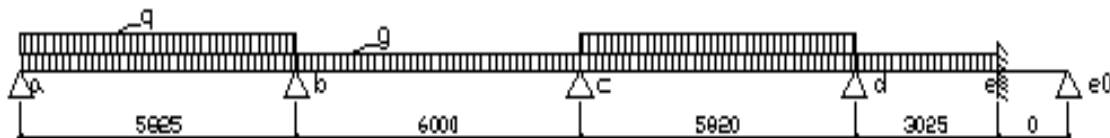
$$g_{dx} = \frac{L_y^4}{L_x^4 + L_y^4} \cdot g_d = \frac{6,02^4}{3,025^4 + 6,02^4} \cdot 11,867 = 11,156 \frac{kN}{m^2} \quad (2.16)$$

Výpočet složky užitečného zatížení:

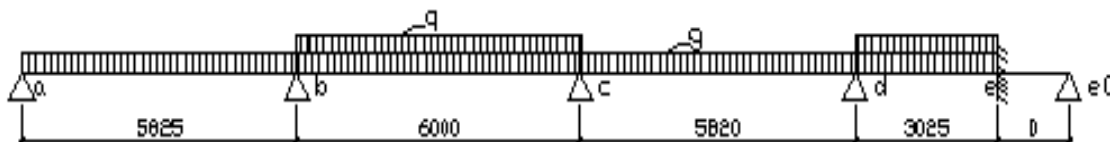
$$q_{dx} = \frac{L_y^4}{L_x^4 + L_y^4} \cdot q_d = \frac{6,02^4}{3,025^4 + 6,02^4} \cdot 4,5 = 4,230 \frac{kN}{m^2} \quad (2.17)$$

Zatěžovací stavy

Obrázek 2.4 ZS1 - spojitě celkové zatížení ve směru x



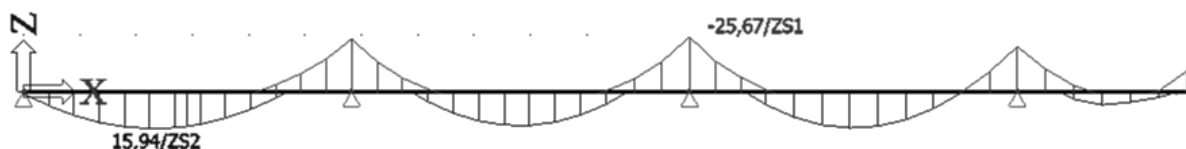
Obrázek 2.5 ZS2 - šachovnicové rozložení užitečného zatížení



Obrázek 2.6 ZS3 - šachovnicové rozložení užitečného zatížení

Ohybové momenty

Jelikož jsou momenty pro posouzení desky získány na nosíku, jedná se o měrné momenty.

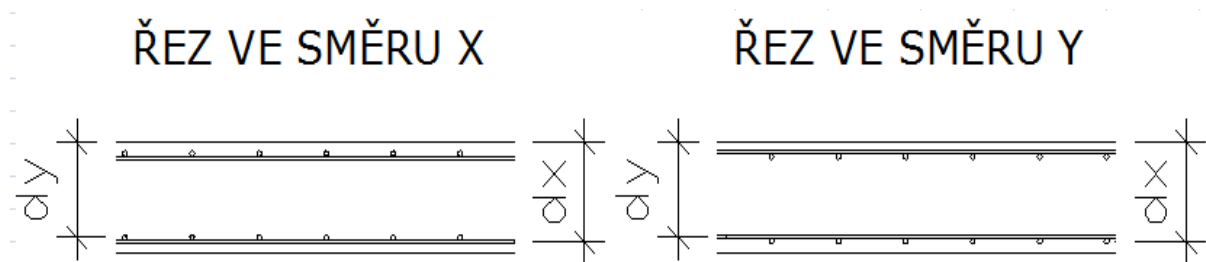


Obrázek 2.7 Maximální ohybové momenty na spojitém nosníku X1

$$m_{Ed} = -25,67 \frac{kNm}{m} \text{ ZS1}$$

$$m_{Ed} = 15,94 \frac{kNm}{m} \text{ ZS2}$$

2.4.1 Návrh výztuže



Obrázek 2.8 Schéma uložení výztuže

DOLNÍ VÝZTUŽ SMĚR X

Plocha výztuže je navrhována metodou mezní rovnováhy. Z předběžného zvoleného profilu výztuže 8 mm je vzdálenost od tlačného okraje betonu k ose tažené výztuže:

$$d = h - c_{nom} - \frac{\phi_x}{2} = 200 - 25 - \frac{8}{2} = 171 \text{ mm} = 0,171 \text{ m}$$

Pro návrh výztuže metodou mezní rovnováhy platí zjednodušený vztah:

$$M_{Rd} = F_s \cdot (d - 0,4 \cdot x) \cong F_s \cdot 0,9 \cdot d \cong A_s \cdot f_{yd} \cdot 0,9 \cdot d \quad (2.18)$$

a z něj je odvozen vzorec pro nutnou plochu výztuže:

$$A_{s,req} = \frac{m_{Ed}}{0,9 \cdot d \cdot f_{yd}} \quad (2.19)$$

$$A_{s,req} = \frac{15,94 \cdot 10^3}{0,9 \cdot 0,171 \cdot 434,783 \cdot 10^6} = 2,38 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

Osová vzdálenost prutů:

$$s = \frac{\pi \cdot \frac{\phi_x^2}{4}}{A_{s,req}} \quad (2.20)$$

$$s = \frac{\pi \cdot \frac{0,008^2}{4}}{2,38 \cdot 10^{-4}} = 0,211 \Rightarrow \text{navrhuji } s = 0,210 \text{ m}$$

Skutečná plocha:

$$A_s = \frac{1}{s} \cdot \frac{\pi \cdot \phi_x^2}{4} \quad (2.21)$$

$$A_s = \frac{1}{0,21} \cdot \frac{\pi \cdot 0,008^2}{4} = 2,39 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

Návrh dolní výztuže směr x: Ø 8/210 ($A_s = 239 \text{ mm}^2$)

HORNÍ VÝZTUŽ SMĚR X

Navrhovaný průměr horní výztuže je shodný s průměrem výztuže dolní. Horní výztuž ve směru y bude blíže hornímu líci stropní desky (viz obrázek 2.8) a to ovlivní výpočet velikosti účinné výšky průřezu. Předběžný návrh průměru výztuže ve směru y je také 8 mm.

$$d = h - c_{nom} - \phi_y - \frac{\phi_x}{2} = 200 - 25 - 8 - \frac{8}{2} = 163 \text{ mm} = 0,163 \text{ m}$$

Dosazení do vztahů 2.19 až 2.21:

$$A_{s,req} = \frac{m_{Ed}}{0,9 \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{25,67 \cdot 10^3}{0,9 \cdot 0,163 \cdot 434,783 \cdot 10^6} = 4,02 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$s = \frac{\pi \cdot \frac{\phi_x^2}{4}}{A_{s,req}} = \frac{\pi \cdot \frac{0,008^2}{4}}{4,02 \cdot 10^{-4}} = 0,125 \text{ m} \Rightarrow \text{navrhuji } 0,120 \text{ m}$$

$$A_s = \frac{1}{s} \cdot \frac{\pi \cdot \phi_x^2}{4} = \frac{1}{0,120} \cdot \frac{\pi \cdot 0,008^2}{4} = 4,189 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

Návrh horní výztuže směr x: Ø 8/120 ($A_s = 419 \text{ mm}^2$)

2.4.2 Posudek

DOLNÍ VÝZTUŽ SMĚR X: Ø 8/210 ($A_s = 239 \text{ mm}^2$)

Síla ve výztuži:

$$F_s = A_s \cdot f_{yd} \quad (2.22)$$

$$F_s = A_s \cdot f_{yd} = 2,39 \cdot 10^{-4} \cdot 434,783 \cdot 10^6 = 103\,913 \text{ N} = 103,913 \text{ kN}$$

Výška tlačené oblasti:

$$x = \frac{F_s}{0,8 \cdot b \cdot \eta \cdot f_{cd}} \quad (2.23)$$

$$x = \frac{103,913 \cdot 10^3}{0,8 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 16,66 \cdot 10^6} = 0,008 \text{ m}$$

Moment únosnosti průřezu:

$$m_{Rd} = F_s \cdot (d - 0,4 \cdot x) \quad (2.24)$$

$$m_{Rd} = F_s \cdot (d - 0,4 \cdot x) = 103,9 \cdot 10^3 \cdot (0,171 - 0,4 \cdot 0,008) = 17\,434 \frac{\text{Nm}}{\text{m}}$$

Posouzení:

$$m_{Rd} = 17,434 \frac{kNm}{m} > m_{Ed} = 15,94 \frac{kNm}{m}$$

Konstrukce vyhovuje pro dané zatížení.

HORNÍ VÝZTUŽ SMĚR X: $\emptyset 8/120$ ($A_s = 419 \text{ mm}^2$)

Dosazení do vztahů 2.22 až 2.24:

$$F_s = A_s \cdot f_{yd} = 4,189 \cdot 10^{-4} \cdot 434,783 \cdot 10^6 = 182\,130 \text{ N} = 182,13 \text{ kN}$$

$$x = \frac{F_s}{0,8 \cdot b \cdot \eta \cdot f_{cd}} = \frac{182,13 \cdot 10^3}{0,8 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 16,66 \cdot 10^6} = 0,014 \text{ m}$$

$$m_{Rd} = F_s \cdot (d - 0,4 \cdot x) = 182,13 \cdot 10^3 \cdot (0,163 - 0,4 \cdot 0,014) = 28\,667 \text{ Nm}$$

Posouzení:

$$m_{Rd} = 28,667 \frac{kNm}{m} > m_{Ed} = 25,67 \frac{kNm}{m}$$

Konstrukce vyhovuje pro dané zatížení.

2.4.3 Konstruktivní zásady

Omezení množství tahové výztuže

$$A_{s,max} = 0,04 \cdot A_c = 0,04 \cdot 1,0 \cdot 0,2 = 0,008 \text{ m}^2 = 8\,000 \text{ mm}^2$$

Dolní výztuž:

$$A_{s,min} = \max \left\{ \begin{array}{l} 0,26 \cdot \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} \cdot b_t \cdot d = 0,26 \cdot \frac{2,6}{500} \cdot 1 \cdot 0,171 = 2,31 \cdot 10^{-4} \\ 0,0013 \cdot b_t \cdot d = 0,0013 \cdot 1 \cdot 0,171 = 2,223 \cdot 10^{-4} \end{array} \right\} \text{ m}^2$$

$$A_{s,min} = 2,31 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 = 231 \text{ mm}^2$$

$$A_{s,min} = 231 \text{ mm}^2 \leq A_s = 239 \text{ mm}^2 \leq A_{s,max} = 8\,000 \text{ mm}^2$$

Podmínka splněna.

Horní výztuž:

$$A_{s,min} = \max \left\{ \begin{array}{l} 0,26 \cdot \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} \cdot b_t \cdot d = 0,26 \cdot \frac{2,6}{500} \cdot 1 \cdot 0,163 = 2,204 \cdot 10^{-4} \\ 0,0013 \cdot b_t \cdot d = 0,0013 \cdot 1 \cdot 0,163 = 2,119 \cdot 10^{-4} \end{array} \right\} \text{ m}^2$$

$$A_{s,min} = 2,204 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 = 220 \text{ mm}^2$$

$$A_{s,min} = 220 \text{ mm}^2 \leq A_s = 419 \text{ mm}^2 \leq A_{s,max} = 8\,000 \text{ mm}^2$$

Podmínka splněna.

Omezení výšky tlačené oblasti

Dolní výztuž:

$$\xi = \frac{x}{d} = \frac{0,008}{0,171} = 0,047 < \xi_{bal} = \frac{700}{700 + f_{yd}} = \frac{700}{700 + 434,783} = 0,617$$

Podmínka splněna.

Horní výztuž:

$$\xi = \frac{x}{d} = \frac{0,014}{0,163} = 0,086 < \xi_{bal} = \frac{700}{700 + f_{yd}} = \frac{700}{700 + 434,783} = 0,617$$

Podmínka splněna.**Maximální osová vzdálenost výztuže**

$$s_{max} = \min \left\{ \frac{2 \cdot h}{250} = \frac{2 \cdot 200}{250} = 400 \right\} mm = 250 mm$$

Dolní výztuž:

$$s = 210 mm \leq s_{max} = 250 mm$$

Podmínka splněna.

Horní výztuž:

$$s = 120 mm \leq s_{max} = 250 mm$$

Podmínka splněna.**Minimální (světlá) vzdálenost výztuže**

$$s_{min} = \max \left\{ \begin{array}{l} k_1 \cdot \phi = 1 \cdot 8 = 8 \\ d_g + k_2 = 16 + 5 = 21 \\ 20 \end{array} \right\} mm = 21 mm$$

Dolní výztuž:

$$s = s - \phi = 210 - 8 = 202 mm > s_{min} = 21 mm$$

Podmínka splněna.

Horní výztuž:

$$s = s - \phi = 120 - 8 = 112 mm > s_{min} = 21 mm$$

Podmínka splněna.**Kotevní délka**

Návrhová pevnost betonu v tahu:

$$f_{ctd} = \frac{\alpha_{ct} \cdot f_{ctk0,05}}{\gamma_c} = \frac{1 \cdot 1,8}{1,5} = 1,2 MPa$$

Návrhová hodnota mezního napětí v soudržnosti:

$$f_{bd} = 2,25 \cdot \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot f_{ctd} = 2,25 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1,2 = 2,7 MPa$$

Základní kotevní délka:

$$l_{bd,rqd} = \frac{\phi}{4} \cdot \frac{f_{yd}}{f_{bd}} = \frac{0,008}{4} \cdot \frac{434,783}{2,7} = 0,255 m$$

Kotevní délka:

$$l_{bd} = \alpha_1 \cdot \alpha_2 \cdot \alpha_3 \cdot \alpha_4 \cdot \alpha_5 \cdot l_{bd,rqd} = 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0,255$$

$$l_{bd} = 0,255 \text{ m} \doteq 260 \text{ mm}$$

Minimální kotevní délka:

$$l_{bd,min} = \max \left\{ \begin{array}{l} 0,3 \cdot l_{bd,rqd} = 0,3 \cdot 0,255 = 0,0765 \\ 10 \cdot \phi = 10 \cdot 0,008 = 0,08 \\ 0,1 \end{array} \right\} \text{ m} = 0,1 \text{ m}$$

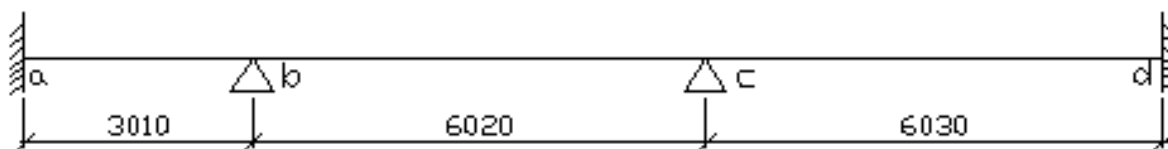
$$l_{bd} = 260 \text{ mm} > l_{bd,min} = 100 \text{ mm}$$

Podmínka splněna.

2.5 Výztuž ve směru y

Statické schéma

Spojitý nosník je veden přes desky č. 3, 2 a 1.



Obrázek 2.3 Schéma nosníku Y1

Rozložení zatížení do směrů

Deska 3

Deska 3 má zatěžovací schéma typu A (viz obrázek 2.2). Pro výpočet rozložení zatížení do směrů platí vztah 2.7:

$$\frac{2}{384} \cdot \frac{p_x \cdot L_x^4}{EI} = \frac{1}{384} \cdot \frac{p_y \cdot L_y^4}{EI}$$

Vyjádření hodnoty zatížení ve směru y:

$$p_y = \frac{2 \cdot L_x^4}{L_y^4 + 2 \cdot L_x^4} \cdot p \quad (2.25)$$

Výpočet složky stálého zatížení:

$$g_{dy} = \frac{2 \cdot L_x^4}{L_y^4 + L_x^4} \cdot g_d = \frac{2 \cdot 5,825^4}{3,01^4 + 2 \cdot 5,825^4} \cdot 11,867 = 11,459 \frac{kN}{m^2} \quad (2.26)$$

Výpočet složky užitého zatížení:

$$q_{dy} = \frac{2 \cdot L_x^4}{L_y^4 + L_x^4} \cdot q_d = \frac{2 \cdot 5,825^4}{3,01^4 + 2 \cdot 5,825^4} \cdot 4,5 = 4,35 \frac{kN}{m^2} \quad (2.27)$$

Deska 2

V rámci návrhu výztuže ve směru x jsou již vypočítány složky zatížení na desce 2 ve směru x (viz rovnice 2.9 a 2.10). Složky zatížení ve směru y lze vypočítat odečtením složky ve směru x od celkového zatížení dle vztahu 2.28:

$$p_y = p - p_x \quad (2.28)$$

Hodnota složky stálého zatížení:

$$g_{dy} = g_d - g_{dx} = 11,867 - 4,31 = 7,557 \frac{kN}{m^2} \quad (2.29)$$

Výpočet složky užitného zatížení:

$$q_{dy} = q_d - q_{dx} = 4,5 - 1,634 = 2,866 \frac{kN}{m^2} \quad (2.30)$$

Deska 1

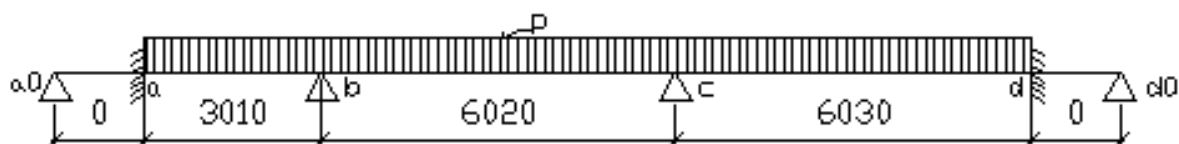
Schéma typu A, tudíž hodnota složky zatížení ve směru y se vyjádří ze vztahu 2.7.

Hodnota složky stálého zatížení:

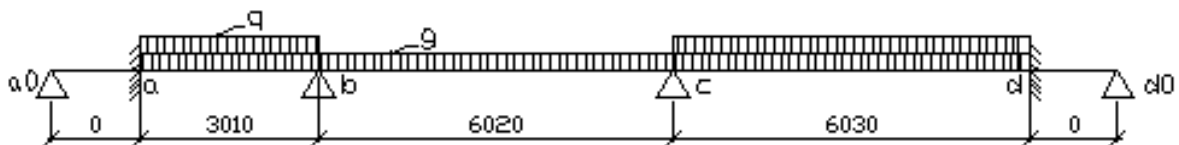
$$g_{dy} = \frac{2 \cdot L_x^4}{L_y^4 + L_x^4} \cdot g_d = \frac{2 \cdot 5,825^4}{6,03^4 + 2 \cdot 5,825^4} \cdot 11,867 = 7,538 \frac{kN}{m^2} \quad (2.31)$$

Výpočet složky užitného zatížení:

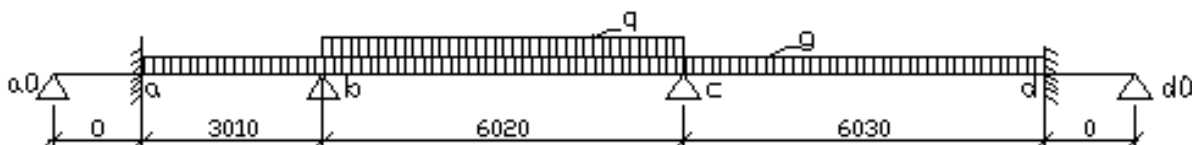
$$q_{dy} = \frac{2 \cdot L_x^4}{L_y^4 + L_x^4} \cdot q_d = \frac{2 \cdot 5,825^4}{6,03^4 + 2 \cdot 5,825^4} \cdot 4,5 = 2,859 \frac{kN}{m^2} \quad (2.32)$$

Zatěžovací stavy

Obrázek 2.4 ZS1 - spojité celkové zatížení ve směru y

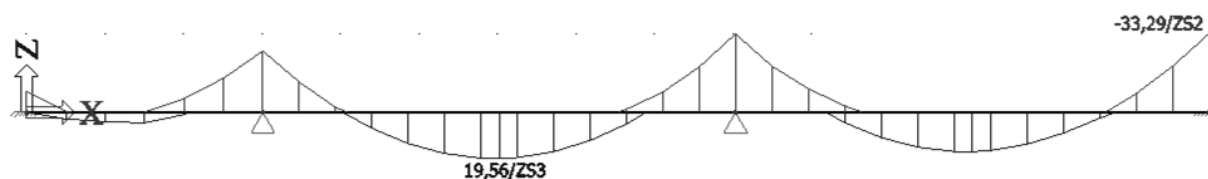


Obrázek 2.5 ZS2 - šachovnicové rozložení užitného zatížení ve směru y



Obrázek 2.6 ZS3 - šachovnicové rozložení užitného zatížení ve směru y

Ohybové momenty



Obrázek 2.7 Maximální ohybové momenty na spojitém nosníku ve směru y

$$m_{Ed} = -33,29 \text{ kNm ZS2}$$

$$m_{Ed} = 19,56 \text{ kNm ZS3}$$

2.5.1 Návrh konstrukce

DOLNÍ VÝZTUŽ SMĚR Y

Byl zvolen profil výztuže 8 mm. Vzdálenost od tlačného okraje k ose tažené výztuže:

$$d = h - c_{nom} - \phi_x - \frac{\phi_y}{2} = 200 - 25 - 8 - \frac{8}{2} = 163 \text{ mm} = 0,163 \text{ m}$$

Dosazení do vztahů 2.19 až 2.21:

$$A_{s,req} = \frac{m_{Ed}}{0,9 \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{19,56 \cdot 10^3}{0,9 \cdot 0,163 \cdot 434,783 \cdot 10^6} = 3,07 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$s = \frac{\pi \cdot \frac{\phi_y^2}{4}}{A_{s,req}} = \frac{\pi \cdot \frac{0,008^2}{4}}{3,07 \cdot 10^{-4}} = 0,164 \text{ m} \Rightarrow \text{navrhuji } 0,160 \text{ m}$$

$$A_s = \frac{1}{s} \cdot \frac{\pi \cdot \phi_y^2}{4} = \frac{1}{0,160} \cdot \frac{\pi \cdot 0,008^2}{4} = 3,142 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

Návrh dolní výztuže směr y: Ø 8/160 ($A_s = 314 \text{ mm}^2$)

HORNÍ VÝZTUŽ SMĚR Y

$$d = h - c_{nom} - \frac{\phi_y}{2} = 200 - 25 - \frac{8}{2} = 171 \text{ mm} = 0,171 \text{ m}$$

$$A_{s,req} = \frac{m_{Ed}}{0,9 \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{33,29 \cdot 10^3}{0,9 \cdot 0,171 \cdot 434,783 \cdot 10^6} = 4,975 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$s = \frac{\pi \cdot \frac{\phi_y^2}{4}}{A_{s,req}} = \frac{\pi \cdot \frac{0,008^2}{4}}{4,975 \cdot 10^{-4}} = 0,101 \text{ m} \Rightarrow \text{navrhuji } 0,100 \text{ m}$$

$$A_s = \frac{1}{s} \cdot \frac{\pi \cdot \phi_x^2}{4} = \frac{1}{0,10} \cdot \frac{\pi \cdot 0,008^2}{4} = 5,03 \cdot 10^{-4} m^2$$

Návrh horní výztuže směr y: Ø 8/100 ($A_s = 503 mm^2$)

2.5.2 Posudek

DOLNÍ VÝZTUŽ SMĚR Y: Ø 8/160 ($A_s = 314 mm^2$)

Dosazení do vztahů 2.22 až 2.24:

$$F_s = A_s \cdot f_{yd} = 3,142 \cdot 10^{-4} \cdot 434,783 \cdot 10^6 = 136\,609 N = 136,61 kN$$

$$x = \frac{F_s}{0,8 \cdot b \cdot \eta \cdot f_{cd}} = \frac{136,61 \cdot 10^3}{0,8 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 16,66 \cdot 10^6} = 0,010 m$$

$$m_{Rd} = F_s \cdot (d - 0,4 \cdot x) = 136,61 \cdot 10^3 \cdot (0,163 - 0,4 \cdot 0,01) = 21\,720 Nm$$

Posouzení:

$$m_{Rd} = 21,72 \frac{kNm}{m} > m_{Ed} = 19,56 \frac{kNm}{m}$$

Konstrukce vyhovuje pro dané zatížení.

Horní výztuž směr y: Ø 8/100 ($A_s = 503 mm^2$)

$$F_s = A_s \cdot f_{yd} = 5,03 \cdot 10^{-4} \cdot 434,783 \cdot 10^6 = 218\,695 N = 218,695 kN$$

$$x = \frac{F_s}{0,8 \cdot b \cdot \eta \cdot f_{cd}} = \frac{218,695 \cdot 10^3}{0,8 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 16,66 \cdot 10^6} = 0,016 m$$

$$m_{Rd} = F_s \cdot (d - 0,4 \cdot x) = 218,695 \cdot 10^3 \cdot (0,171 - 0,4 \cdot 0,016) = 35\,997 Nm$$

Posouzení:

$$m_{Rd} = 35,997 \frac{kNm}{m} > m_{Ed} = 33,29 \frac{kNm}{m}$$

Konstrukce vyhovuje pro dané zatížení.

2.5.3 Konstruktivní zásady

Omezení množství tahové výztuže

$$A_{s,max} = 0,04 \cdot A_c = 0,04 \cdot 1,0 \cdot 0,2 = 0,008 m^2 = 8\,000 mm^2$$

Dolní výztuž:

$$A_{s,min} = \max \left\{ \begin{array}{l} 0,26 \cdot \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} \cdot b_t \cdot d = 0,26 \cdot \frac{2,6}{500} \cdot 1 \cdot 0,163 = 2,204 \cdot 10^{-4} \\ 0,0013 \cdot b_t \cdot d = 0,0013 \cdot 1 \cdot 0,163 = 2,119 \cdot 10^{-4} \end{array} \right\} m^2$$

$$A_{s,min} = 2,204 \cdot 10^{-4} m^2 = 220 mm^2$$

$$A_{s,min} = 220 \text{ mm}^2 \leq A_s = 314 \text{ mm}^2 \leq A_{s,max} = 8\,000 \text{ mm}^2$$

Podmínka splněna.

Horní výztuž:

$$A_{s,min} = \max \left\{ \begin{array}{l} 0,26 \cdot \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} \cdot b_t \cdot d = 0,26 \cdot \frac{2,6}{500} \cdot 1 \cdot 0,171 = 2,31 \cdot 10^{-4} \\ 0,0013 \cdot b_t \cdot d = 0,0013 \cdot 1 \cdot 0,171 = 2,223 \cdot 10^{-4} \end{array} \right\} m^2$$

$$A_{s,min} = 2,31 \cdot 10^{-4} m^2 = 231 \text{ mm}^2$$

$$A_{s,min} = 231 \text{ mm}^2 \leq A_s = 503 \text{ mm}^2 \leq A_{s,max} = 8\,000 \text{ mm}^2$$

Podmínka splněna.

Omezení výšky tlačené oblasti

Dolní výztuž:

$$\xi = \frac{x}{d} = \frac{0,01}{0,163} = 0,061 < \xi_{bal} = \frac{700}{700 + f_{yd}} = \frac{700}{700 + 434,783} = 0,617$$

Podmínka splněna.

Horní výztuž:

$$\xi = \frac{x}{d} = \frac{0,016}{0,171} = 0,094 < \xi_{bal} = \frac{700}{700 + f_{yd}} = \frac{700}{700 + 434,783} = 0,617$$

Podmínka splněna.

Maximální osová vzdálenost výztuže

$$s_{max} = \min \left\{ \begin{array}{l} 2 \cdot h = 2 \cdot 200 = 400 \\ 250 \end{array} \right\} mm = 250 \text{ mm}$$

Dolní výztuž:

$$s = 160 \text{ mm} \leq s_{max} = 250 \text{ mm}$$

Podmínka splněna.

Horní výztuž:

$$s = 100 \text{ mm} \leq s_{max} = 250 \text{ mm}$$

Podmínka splněna.

Minimální (světlá) vzdálenost výztuže

$$s_{min} = \max \left\{ \begin{array}{l} k_1 \cdot \phi = 1 \cdot 8 = 8 \\ d_g + k_2 = 16 + 5 = 21 \\ 20 \end{array} \right\} mm = 21 \text{ mm}$$

Dolní výztuž:

$$s = s - \phi = 160 - 8 = 152 \text{ mm} > s_{min} = 21 \text{ mm}$$

Podmínka splněna.

Horní výztuž:

$$s = s - \phi = 100 - 8 = 92 \text{ mm} > s_{min} = 21 \text{ mm}$$

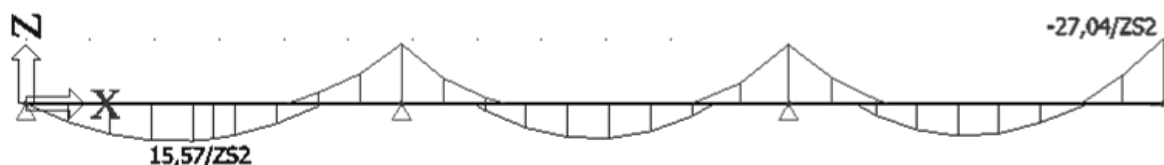
Podmínka splněna.

Kotevní délka

Kotevní délka výztuže ve směru y je stejná jako ve směru x neboť mají stejný profil. Kotevní délka je tedy 260 mm.

2.6 Stropní desky ve vyšších podlažích

Stropní desky ve vyšších podlažích mají mírně odlišné schéma náhradního spojitého nosníku. Desky ve 3. a 4.NP ve směru x mohou být vyztuženy stejně jako navržená stropní deska v nejnižším podlaží. Vyhoví, neboť návrhové momenty jsou téměř shodné:



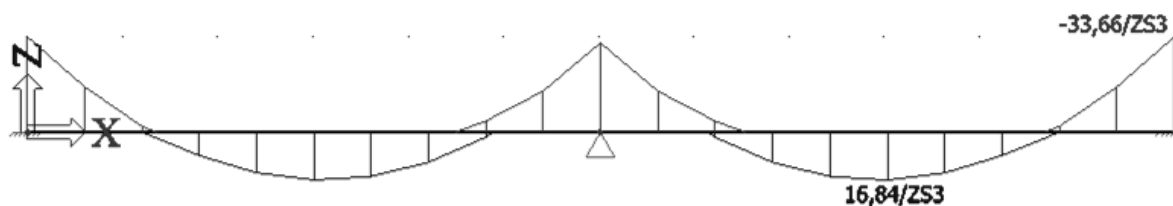
Obrázek 1.1 Návrhové ohybové momenty na deskách ve vyšších patrech ve směru x

Návrhové momenty ve vyšších podlažích: $M_{Rd} = 15,57 \text{ kNm}$ a $M_{Rd} = -27,04 \text{ kNm}$

Návrhové momenty v nejnižším podlaží: $M_{Rd} = 15,94 \text{ kNm}$ a $M_{Rd} = -27,67 \text{ kNm}$

Výztuž ve směru x přenesse tyto momenty: $M_{Rd} = 17,956 \text{ kNm}$ a $M_{Rd} = -29,577 \text{ kNm}$.

Ve směru y také vyhoví, jelikož průběh momentů je následující:



Obrázek 1.2 Návrhové ohybové momenty na deskách ve vyšších patrech ve směru y

Návrhové momenty ve vyšších podlažích: $M_{Rd} = 16,84 \text{ kNm}$ a $M_{Rd} = -33,66 \text{ kNm}$

Návrhové momenty v nejnižším podlaží: $M_{Ed}^+ = 19,56 \text{ kNm}$ a $M_{Ed}^- = -33,29 \text{ kNm}$

Výztuž ve směru y přenesse tyto momenty: $M_{Rd} = 22,388 \text{ kNm}$ a $M_{Rd} = -37,09 \text{ kNm}$

2.7 Kontrola ohybové štíhlosti

Norma ČSN 1992-1-1[2] stanovuje, že pokud je ohybová štíhlost posuzované konstrukce menší než mezní ohybová štíhlost, není nutné přesně stanovovat průhyb. U spojitých, křížem vyztužených desek se má kontrolovat štíhlost v kratším směru rozpětí. Obecně totiž platí, že v kratším směru se přenáší větší část zatížení. V tomto případě je v kratším rozpětí deska na jednom okraji prostě podepřena a na druhém vetknutá. V delším rozpětí je oboustranně vetknutá a proto se tímto směrem roznáší větší složka zatížení. Schéma posuzované desky je pole 1 na obr. 2.1. Navíc rozdíly rozpětí nejsou výrazné, a proto je posudek štíhlosti proveden pro delší rozpětí.

Základní vztah, který musí být splněn:

$$\frac{l}{d} \leq \lambda_{lim} \quad (2.33)$$

Údaje posuzovaného pole a dolní výztuže ve směru y:

$$l = 6,03 \text{ m}$$

$$f_{ck} = 25 \text{ MPa}$$

$$f_{yk} = 500 \text{ MPa}$$

$$A_{s,prov} = 314 \cdot 10^{-6} \text{ mm}^2$$

$$A_{s,req} = 307 \cdot 10^{-6} \text{ mm}^2$$

$$d = 0,163 \text{ m}$$

$K = 1,3$ pro krajní pole spojitě, křížem vyztužené desky

Mezní ohybová štíhlost se vypočítá:

pro $\rho \leq \rho_0$ vztahem:

$$\lambda_{lim} = K \cdot \left[11 + 1,5\sqrt{f_{ck}} \cdot \frac{\rho_0}{\rho} + 3,2\sqrt{f_{ck}} \left(\frac{\rho_0}{\rho} - 1 \right)^{\frac{3}{2}} \right] \quad (2.34)$$

pro $\rho > \rho_0$ vztahem:

$$\lambda_{lim} = K \cdot \left[11 + 1,5\sqrt{f_{ck}} \cdot \frac{\rho_0}{\rho - \rho'} + \frac{1}{12}\sqrt{f_{ck}} \sqrt{\frac{\rho'}{\rho_0}} \right] \quad (2.35)$$

Výpočet geometrického stupně vyztužení:

$$\rho = \frac{A_{s,prov}}{b \cdot d} = \frac{314 \cdot 10^{-6}}{1,0 \cdot 0,163} = 1,926 \cdot 10^{-3} \quad (2.36)$$

Výpočet referenčního stupně vyztužení:

$$\rho_0 = \sqrt{f_{ck}} \cdot 10^{-3} = \sqrt{25} \cdot 10^{-3} = 5 \cdot 10^{-3} \quad (2.37)$$

Porovnání hodnot ze vztahů 2.36 a 3.37:

$$\rho = 1,926 \cdot 10^{-3} < \rho_0 = 5 \cdot 10^{-3} \quad (2.38)$$

Vztah 2.38 určuje, že pro výpočet štíhlosti bude platit vztah 2.34:

$$\lambda_{lim} = K \cdot \left[11 + 1,5\sqrt{f_{ck}} \cdot \frac{\rho_0}{\rho} + 3,2\sqrt{f_{ck}} \left(\frac{\rho_0}{\rho} - 1 \right)^{\frac{3}{2}} \right]$$

$$\lambda_{lim} = 1,3 \cdot \left[11 + 1,5 \cdot \sqrt{25} \cdot \frac{5}{1,926} + 3,2 \cdot \sqrt{25} \left(\frac{5}{1,926} - 1 \right)^{\frac{3}{2}} \right]$$

$$\lambda = 81,552$$

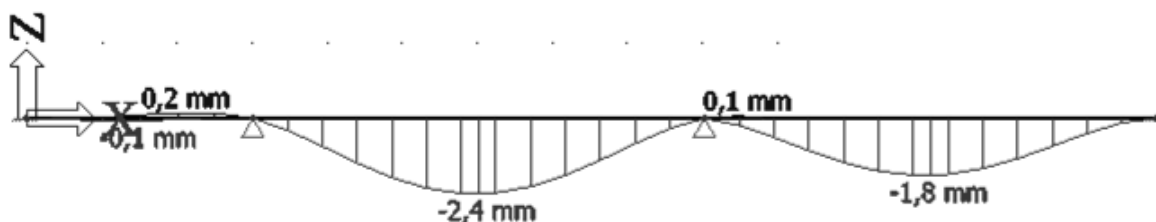
Posouzení dle vztahu 2.33:

$$\frac{l}{d} = \frac{6,03}{0,163} \leq \lambda_{lim}$$

$$36,99 \leq 83,428$$

Podmínka splněna.

Nerovnost je splněna s velkou rezervou a stropní deska tedy vyhoví na mezní stav použitelnosti z hlediska průhybu. O tom, že by překročení mezního stavu použitelnosti nemělo nastat svědčí i hodnota průhybu ze programu Sica Engineer, jenž je okolo 2 mm jak je zřejmé na obrázku 2.14. V porovnání s přibližnou limitní hodnotou, která se často používá u předběžných návrzích, je opět mnohem menší. Uvádí se (odkaz), že limitní průhyb je zhruba 1/250 průhybu (viz vztah 2.39).



Obrázek 2.8 Hodnoty maximálních průhybů v mm na spojitém nosníku Y

$$\delta < \delta_{lim} = \frac{l}{250} \quad (2.39)$$

$$2 \text{ mm} < \delta_{lim} = \frac{6030}{250} = 24,12 \text{ mm}$$

Podmínka splněna.

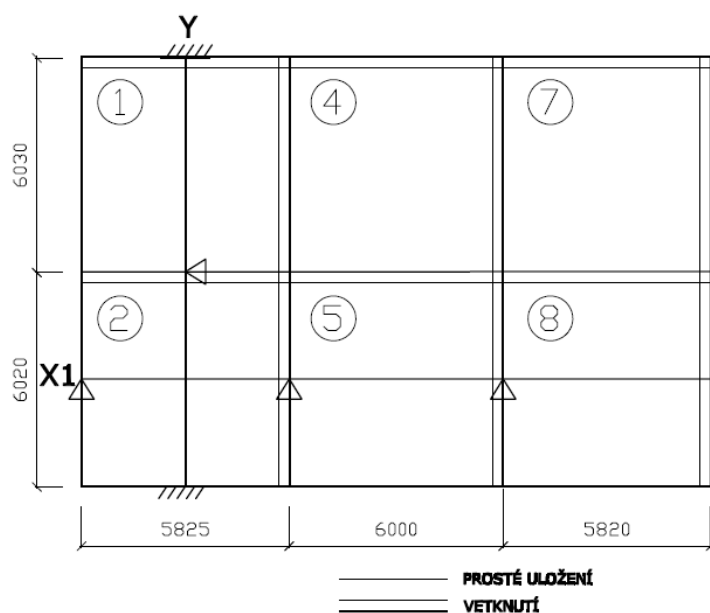
3 ZATÍŽENÍ NA RÁMECH

Kombinace zatížení jsou uvažována v souladu s ČSN EN 1990[3] dle vztahů 6.10a a 6.10b:

$$\sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} G_{k,j} + \gamma_P P + \gamma_{Q,1} \psi_{Q,1} Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \psi_{Q,i} Q_{k,i}$$

$$\sum_{j \geq 1} \xi_j \gamma_{G,j} G_{k,j} + \gamma_P P + \gamma_{Q,1} Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \psi_{Q,i} Q_{k,i}$$

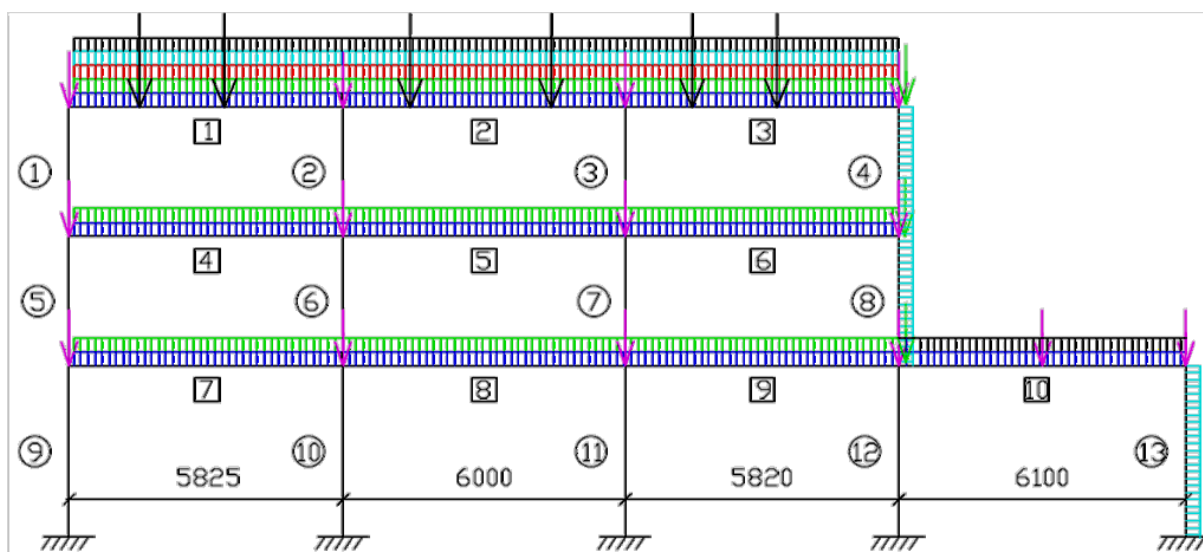
Hodnoty vnitřních sil z desky ve 2.NP, se kterými se v následující kapitole počítá, byly získány výpočty na náhradních nosnících X1, X2 a Y (viz obr 2.1). Vnitřní síly ve 3. a 4.NP byly získány z výpočtů na náhradních nosnících X1 a Y, bez části podloubí jak je zobrazeno na obrázku 3.1. Bylo-li to třeba, byl výstup z programu Scia engineer upraven tak, aby hodnoty maximálních vnitřních sil u dané podpory byly ze stejného zatěžovacího stavu.



Obrázek 3.1 Schéma spojitě desky nad 2.NP s vyznačením řešených spojitých nosníků

3.1 Krajní rám ve směru x

- Roznesená reakce od zatížení na stropní desce ve směru y
- Reakce od zatížení na stropní desce ze směru x
- Zatížení od obvodové zdi
- Zatížení od střešního pláště
- Zatížení od větru
- Zatížení od sněhu
- Zatížení od ocelových rámu
- + Vlastní tíha rámové konstrukce

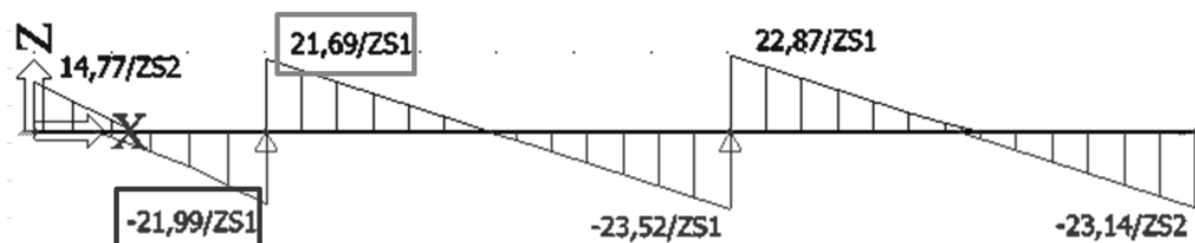


Obrázek 3.2 Schéma zatížení na krajním rámu

Roznesená reakce od zatížení na stropní desce ve směru y

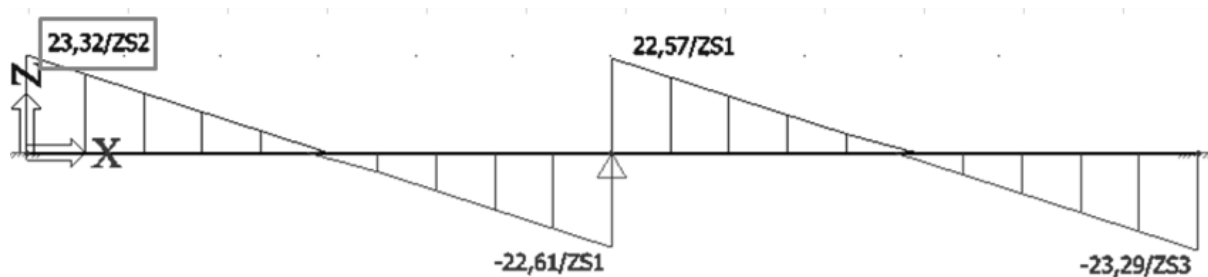
Ve 2.NP vznikla největší reakce ve směru y na krajním rámu v zatěžovacím stavu

1.ZS. Hodnota zatížení na rámu je rovna $g_{reakce,y,2.NP} = 43,68 \frac{kN}{m}$.



Obrázek 3.3 Maximální posouvající síly na spojitém nosníku Y ve 2.NP

Ve 3. a 4. NP vznikla největší reakce ve směru y ve 2.ZS. Hodnota zatížení na rámu je rovna $g_{reakce,y,3.a4.NP} = 23,32 \frac{kN}{m}$.



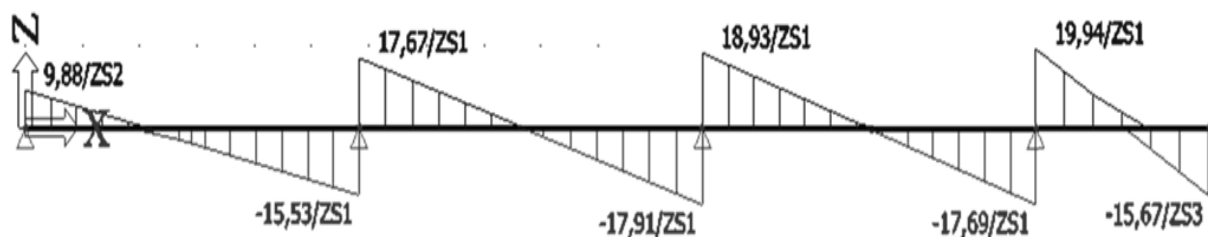
Obrázek 3.4 Maximální posouvající síly na spojitém nosníku Y ve 3. a 4.NP

Reakce od zatížení na stropní desce ze směru x

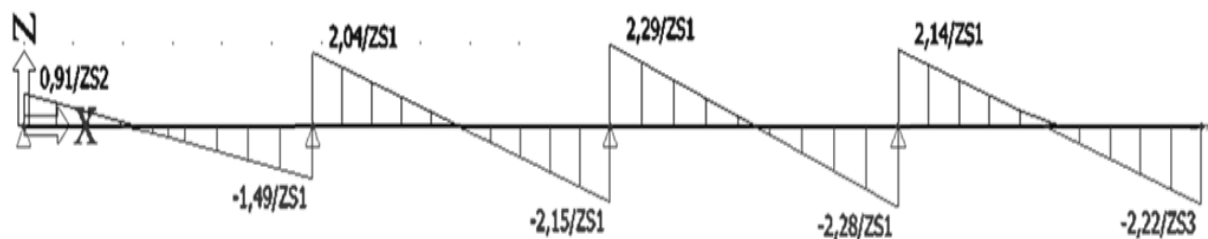
Hodnoty jednotlivých bodových sil jsou součty maximálních posouvajících sil, vynásobených roznášecí šířkou. Velikosti břemen ve 2.NP jsou uvedeny v tabulce, tak jak jsou umístěny na rámu ve směru zleva doprava. Hodnoty posouvajících sil jsou na obrázcích 3.5 a 3.6.

Roznášecí šířka	F1	F2	F3	F4	F5	F6
3,015	29,788	100,098	111,073	113,454	47,245	0
1,505	1,370	5,313	6,682	6,667	0	3,341
	31,158	105,411	117,755	120,121	47,245	3,341

Tabulka 3.1 Hodnoty reakcí ve 2.NP ze směru x



Obrázek 3.5 Maximální posouvající síly na spojitém nosníku X1 ve 2.NP

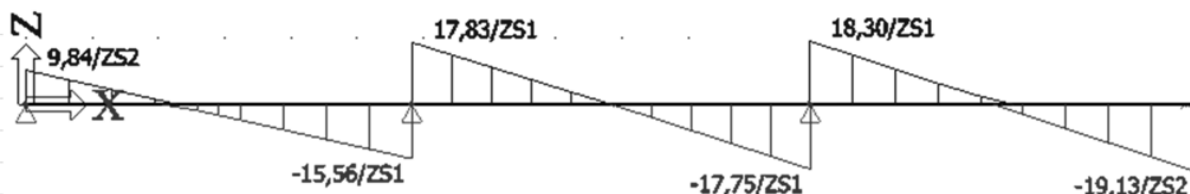


Obrázek 3.6 Maximální posouvající síly na spojitém nosníku X2 ve 2.NP

Velikosti břemen ve 3. a 4.NP jsou uvedeny také v pořadí zleva doprava v tabulce. Hodnoty posouvajících sil jsou na obrázku 3.7.

Roznášecí šířka	F1	F2	F3	F4
3,015	29,668	100,671	108,691	57,677

Tabulka 3.2 Hodnoty reakcí ve 3. a 4.NP



Obrázek 3.7 Maximální posouvající síly na spojitém nosníku X1 ve 3. a 4.NP

Zatížení od obvodové zdi

Rovnoměrné spojitě zatížení vzniká od obvodové zdi v podélném směru. Velikost tohoto zatížení se získá součinem vlastní tíhy zdi a její výškou v příslušném podlaží.

popis	g_k [kN/m ²]	γ_g [–]	g_d [kN/m ²]
Omítka vnitřní, tl. 15 mm, $\rho = 1800 \text{ kg/m}^3$	0,27	1,35	0,365
Zdivo Porotherm 30 Profi, tl. 300 mm, $\rho = 850 \text{ kg/m}^3$	2,55	1,35	3,443
Lepidlo, tl. 5 mm, $\rho = 1600 \text{ kg/m}^3$	0,08	1,35	0,108
Zateplovací systém ETICS, tl. 160 mm, $\rho = 150 \text{ kg/m}^3$	0,24	1,35	0,324
Omítka vnější, tl. 5 mm, $\rho = 1600 \text{ kg/m}^3$	0,08	1,35	0,180
Σ	3,22		4,347

Tabulka 3.3 Zatížení od obvodové zdi

Ve 2. a 3.NP je zeď vysoká $h = 2,75 \text{ m}$, proto zatížení od obvodové zdi má hodnotu:

$$g_{\text{obvod. zeď, 2.a 3.NP}} = g_k \cdot h = 3,22 \cdot 2,75 = 8,855 \frac{\text{kN}}{\text{m}} \quad (3.1)$$

Ve 4. NP je již obvodová zeď vysoká pouze $h = 1,6 \text{ m}$, zatížení od této zdi je tedy:

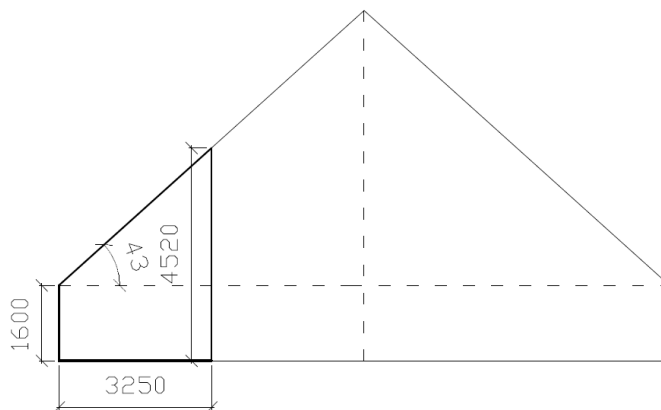
$$g_{\text{obvod. zeď, 4.NP}} = g_k \cdot h = 3,22 \cdot 1,6 = 5,152 \frac{\text{kN}}{\text{m}} \quad (3.2)$$

Obvodová zeď v příčném směru vnáší bodové zatížení v krajních styčnicích rámu. Ve 2. a 3.NP má velikost součinu zatížení vypočítaného v rovnici 3.1. a roznášecí šířky na rámu, tedy $b = 3,01 \text{ m}$.

$$F_{obvod. zed', 2.a3.NP} = g_{obvod. zed'} \cdot b = 8,885 \cdot 3,01 = 26,65 \text{ kN} \quad (3.3)$$

Bodové zatížení od zdi ve 4.NP má velikost součinu tíhy zdi (viz tabulka 3.3) a plochy části štítu, která je zvýrazněna na obr 3.8.

$$F_{obvod. zed', 4.NP} = g_k \cdot A = 3,22 \cdot \frac{(1,6 + 4,52) \cdot 3,25}{2} = 32,023 \text{ kN} \quad (3.4)$$



Obrázek 3.8 Schéma štítu se zvýrazněním započítávané části

Zatížení od střešního pláště

Stálé zatížení

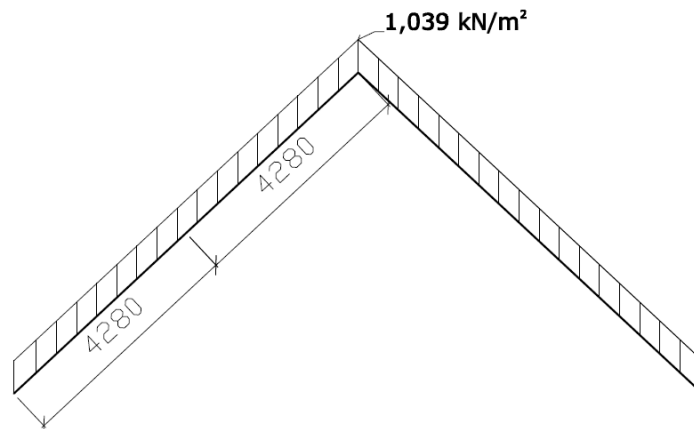
popis	g_k [kN/m ²]	γ_g [–]	g_d [kN/m ²]
Falcovaný plech, tl. 1 mm, $\rho = 7850 \text{ kg/m}^3$	0,079	1,35	0,106
Bednění OSB + pojistná H.I., tl. 25 mm, $\rho = 800 \text{ kg/m}^3$	0,20	1,35	0,27
Tepelná izolace MW, tl. 300 mm, $\rho = 100 \text{ kg/m}^3$	0,3	1,35	0,405
Vlastní tíha krokví, 200x100 mm, $\rho = 500 \text{ kg/m}^3$	0,1	1,35	0,135
SDK podhled, tl. 30 mm, $\rho = 1200 \text{ kg/m}^3$	0,36	1,35	0,486
Σ	1,039		1,402

Tabulka 3.4 Stálé zatížení od střešního pláště

Užitné zatížení

Jedná se o kategorii nepřístupné střechy s výjimkou běžné údržby, tudíž dle ČSN 1991[1] je charakteristická velikost užitného zatížení rovna $q_k = 0,8 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$. Toto zatížení se vždy porovnává s hodnotou zatížení od sněhu a uvažuje se pouze dominující hodnota, jelikož se nepředpokládá, že se budou tyto zatížení vyskytovat na střeše zároveň. V tomto

případě je dominantnější zatížení od sněhu $s = 1,6 \frac{kN}{m^2}$ (viz dále). Užité zatížení na střeše tedy není uvažováno.



Obrázek 3.9 Zatížení na střeše od vlastní tíhy

Spojitě rovnoměrné zatížení od vlastní tíhy střešní konstrukce, které zatěžuje krajní rám, je rovno součinu zatížení v plošných jednotkách a poloviny šikmé délky zastřešení.

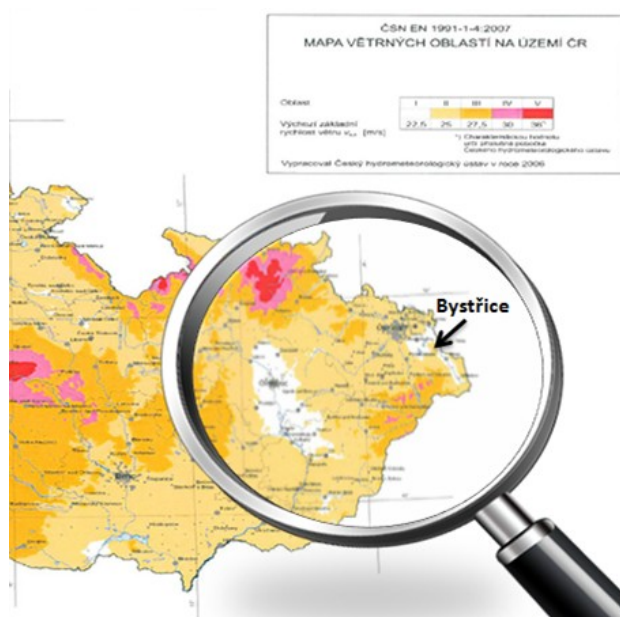
$$g_{\text{střecha,kraj}} = g_k \cdot l = 1,039 \cdot 4,28 = 4,447 \frac{kN}{m} \quad (3.5)$$

Zatížení od větru - střecha

Rychlost větru

Objekt se nachází v Bystřici nad Olší, ta spadá do druhé větrné oblasti jak je naznačeno na obrázku 3.10.

větrná oblast II $\Rightarrow v_{b,0} = 25 \frac{m}{s}$



Obrázek 3.10 Vyznačení obce Bystřice nad Olší na mapě větrných oblastí

Základní rychlost větru:

$$v_b = c_{dir} \cdot c_{season} \cdot v_{b,0} \quad (3.6)$$

$$c_{dir} = 1,0$$

$$c_{season} = 1,0$$

$$v_b = 1 \cdot 1 \cdot 25 = 25 \frac{m}{s}$$

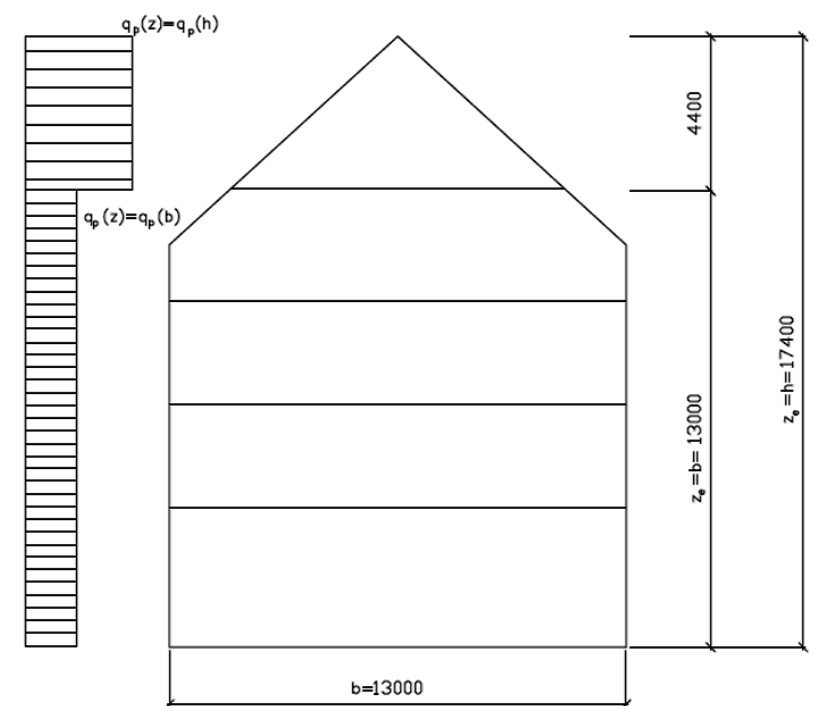
Referenční výška

Jelikož pro rozměry objektu platí vztah 1.8., musí se dle normy tlak větru rozdělit jak je zobrazeno na obrázku 3.11.

$$h = 17,4 m$$

$$b = 13 m$$

$$b < h \leq 2b \quad (3.7)$$



Obrázek 3.11 Rozdělení objektu na referenční výšky

$$z_e = h = 17,4 m$$

$$z_e = b = 13 m$$

Součinitel drsnosti

$$c_r(z) = k_z \cdot \ln \frac{z}{z_0} \quad (3.8)$$

Předměstská oblast \Rightarrow terén kategorie III:

$$z_0 = 0,3$$

$$z_{0,II} = 0,05$$

$$z_{min} = 5 \text{ m}$$

$$k_r = 0,19 \cdot \left(\frac{z_0}{z_{0,II}} \right)^{0,07} = 0,19 \cdot \left(\frac{0,3}{0,005} \right)^{0,07} = 0,215 \quad (3.9)$$

Dosazení do vztahu 3.8:

$$c_r(h) = k_r \cdot \ln \frac{h}{z_0} = 0,215 \cdot \ln \frac{17,4}{0,3} = 0,875$$

$$c_r(b) = k_r \cdot \ln \frac{b}{z_0} = 0,215 \cdot \ln \frac{13}{0,3} = 0,81$$

$$c_0(z) = 1,0$$

Charakteristická střední rychlost větru:

$$v_m(z) = c_r(z) \cdot c_0(z) \cdot v_b \quad (3.10)$$

$$v_m(h) = c_r(h) \cdot c_0(z) \cdot v_b = 0,875 \cdot 1 \cdot 25 = 21,825$$

$$v_m(b) = c_r(b) \cdot c_0(z) \cdot v_b = 0,81 \cdot 1 \cdot 25 = 20,25$$

Základní tlak větru:

$$q_b = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_b^2 \quad (3.11)$$

$$\rho = 1,25 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$q_b = \frac{1}{2} \cdot 1,25 \cdot 25^2 = 390,625 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}$$

Maximální charakteristický tlak:

$$q_p(z) = c_e(z) \cdot q_b \quad (3.12)$$

$$c_e(z) = [1 + 7 \cdot I_v(h)] \cdot c_0(z)^2 \cdot c_r(z)^2 \quad (3.13)$$

$$I_v(z) = \frac{k_1}{c_0(z) \cdot \ln \frac{z}{z_0}} \quad (3.14)$$

$$k_1 = 1,0$$

$$I_v(h) = \frac{k_1}{c_0(z) \cdot \ln \frac{h}{z_0}} = \frac{1}{1 \cdot \ln \frac{17,4}{0,3}} = 0,246$$

$$I_v(b) = \frac{k_1}{c_0(z) \cdot \ln \frac{b}{z_0}} = \frac{1}{1 \cdot \ln \frac{13}{0,3}} = 0,265$$

Hodnoty maximálních tlaků pro jednotlivé referenční výšky se získají dosazením vztahu 3.13 do rovnice 3.12:

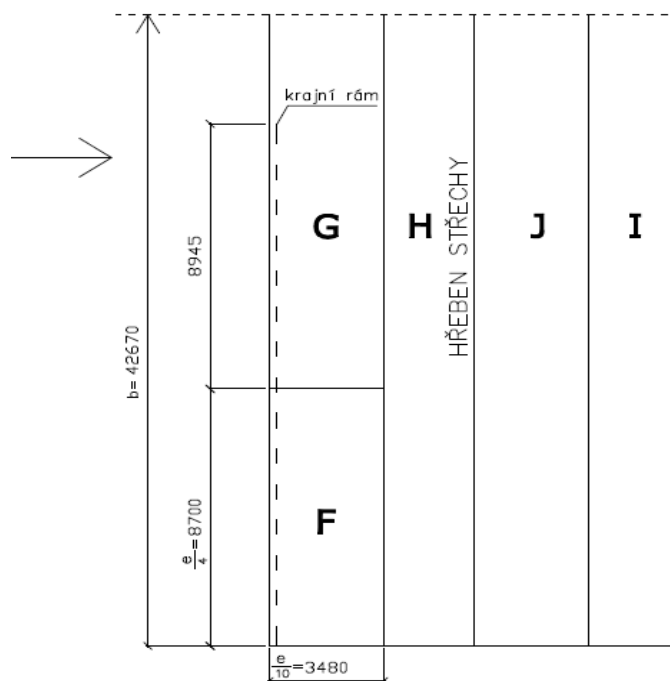
$$q_p(z) = [1 + 7 \cdot I_v(z)] \cdot c_0(z)^2 \cdot c_r(z)^2 \cdot q_b \quad (3.15)$$

$$q_p(h) = [1 + 7 \cdot 0,246] \cdot 1^2 \cdot 0,875^2 \cdot 391 = 814,456 \frac{N}{m^2} = 0,814 \frac{kN}{m^2} \quad (3.16)$$

$$q_p(b) = [1 + 7 \cdot 0,265] \cdot 1^2 \cdot 0,81^2 \cdot 391,625 = 736,018 \frac{N}{m^2} = 0,736 \frac{kN}{m^2} \quad (3.17)$$

Příčný vítr

$$e = \min(b; 2h) = \min(42,67; 34,6) = 34,6 \text{ m}$$



Obrázek 3.12 Rozdělení střechy na větrné oblasti s vyznačením řešeného rámu

Tlak větru na střešní konstrukci

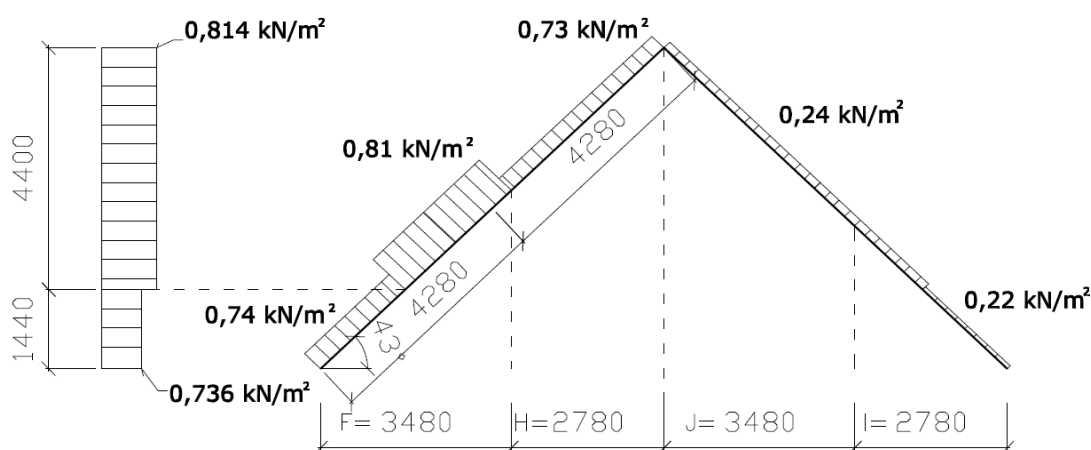
$$w_k = q_p \cdot (c_{pe} - c_{pi}) \quad (3.18)$$

Střešní plocha vystavená působení větru je větší než $10 \text{ m}^2 \Rightarrow c_{pe,10}$

Součinitelé tlaků		$w_k(h) \left[\frac{kN}{m^2} \right]$		$w_k(b) \left[\frac{kN}{m^2} \right]$	
vnější ↓	vnitřní →	$c_{pi,10}^- = -0,3$	$c_{pi,10}^+ = 0,2$	$c_{pi,10}^- = -0,3$	$c_{pi,10}^+ = 0,2$
$c_{pe,10}^{F-}$	0	0,244	-0,16	0,22	-0,15
$c_{pe,10}^{G-}$	0	0,244	-0,16	0,22	-0,15
$c_{pe,10}^{H-}$	0	0,244	-0,16	0,22	-0,15
$c_{pe,10}^{I-}$	-0,2	0,08	-0,33	0,07	-0,29
$c_{pe,10}^{J-}$	-0,3	0,0	-0,41	0,0	-0,37
$c_{pe,10}^{F+}$	0,7	0,814	0,41	0,736	0,37
$c_{pe,10}^{G+}$	0,7	0,814	0,41	0,736	0,37
$c_{pe,10}^{H+}$	0,6	0,732	0,33	0,662	0,29
$c_{pe,10}^{I+}$	0	0,244	-0,16	0,221	-0,15
$c_{pe,10}^{J+}$	0	0,244	-0,16	0,221	-0,15

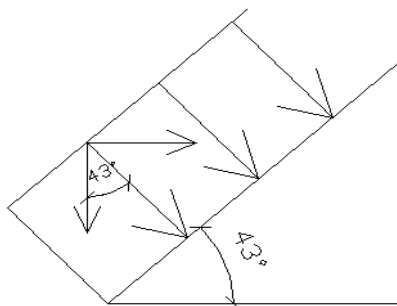
Tabulka 3.5 Hodnoty tlaků na jednotlivých větrných oblastech na střešní konstrukci od příčného větru s vyznačením dominantních hodnot, použitých ve výpočtech

Nejméně příznivě vyšly hodnoty pro kladné hodnoty vnitřních tlaků a zápornou hodnotu vnitřního tlaku. Jejich rozložení je vykresleno na 3.13.



Obrázek 3.13 Rozložení zatížení od příčného větru na střeše

Přepočet zatížení z kolmého směru na průmět:



Obrázek 3.14 Grafické znázornění rozložení kolmé složky zatížení

$$w_{k,svislé} = w_k \cdot \cos 43^\circ \quad (3.19)$$

Dosazení do vztahu 3.19:

$$w_{k,svislé}^F(b) = 0,736 \cdot \cos 43^\circ = 0,54 \frac{kN}{m^2}$$

$$w_{k,svislé}^F(h) = 0,814 \cdot \cos 43^\circ = 0,59 \frac{kN}{m^2}$$

$$w_{k,svislé}^H(h) = 0,732 \cdot \cos 43^\circ = 0,53 \frac{kN}{m^2}$$

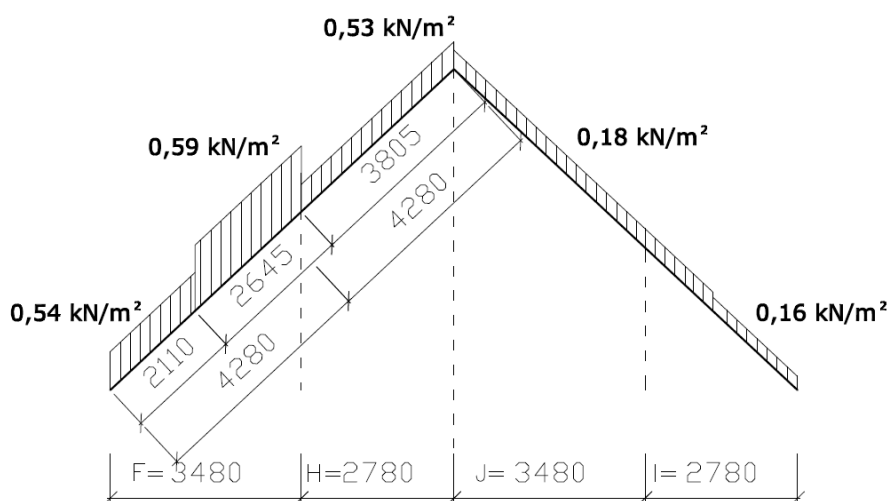
$$w_{k,svislé}^{J,I}(h) = 0,224 \cdot \cos 43^\circ = 0,178 \frac{kN}{m^2}$$

$$w_{k,svislé}^{J,I}(b) = 0,221 \cdot \cos 43^\circ = 0,162 \frac{kN}{m^2}$$

Zatížení na krajním rámu od větru je tedy součtem hodnot z poloviny délky zastřešení, vynásobených příslušnými délkami na kterých působí.

$$g_{vitr,střecha} = w_{k,svislé}^F(b) \cdot 2,11 + w_{k,svislé}^F(h) \cdot (4,28 - 2,11)$$

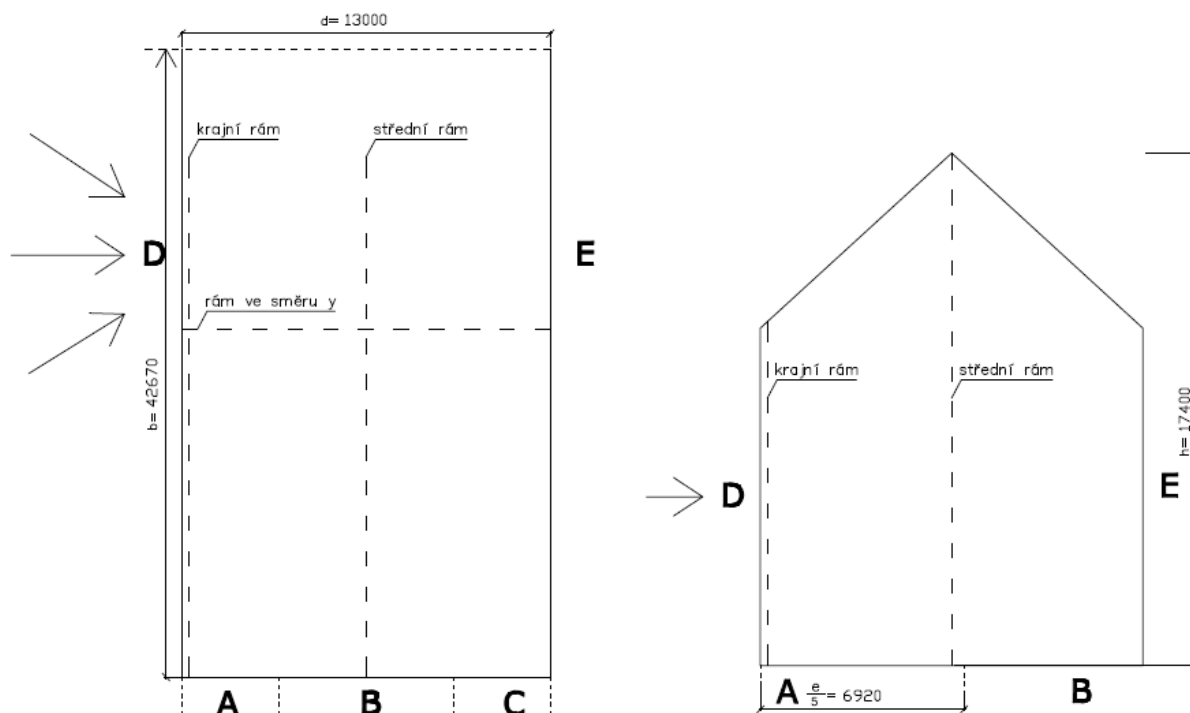
$$g_{vitr,střecha,kraj} = 0,54 \cdot 2,11 + 0,59 \cdot (4,28 - 2,11) = 2,42 \frac{kN}{m}$$



Obrázek 3.15 Zatížení od větru přepočítané na průmět

Zatížení od větru - stěna

$$e = \min(b; 2h) = \min(42,67; 34,6) = 34,6 \text{ m}$$



Obrázek 3.16 Schéma rozdělení objektu pro výpočet zatížení od větru na stěnách

Plocha vystavená větru je větší než $10 \text{ m}^2 \Rightarrow c_{pe,10}$

Pro určení součinitelů vnějších tlaků je nutné znát velikost poměru výšky a délky objektu. Hodnoty jsou naznačeny na obrázku 3.16.

$$\frac{h}{d} = \frac{17,4}{13} = 1,34$$

Tlak větru na stěny se vypočítá vztahem 3.18:

$$w_k = q_p \cdot (c_{pe} - c_{pi}) \quad (3.20)$$

Hodnoty q_p jsou pro jednotlivé referenční výšky vypočteny ve vztazích 3.16 a 3.17. Tedy $q_p(h) = 0,814 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$ a $q_p(b) = 0,736 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$. Výsledné hodnoty tlaku větru na stěny jsou uvedeny v tabulce 3.6 s vyznačením hodnot, jež budou působit na krajní rám.

Součinitelé tlaků		$w_k(h) \left[\frac{kN}{m^2} \right]$		$w_k(b) \left[\frac{kN}{m^2} \right]$	
vnější ↓	vnitřní →	$c_{pi,10}^- = -0,3$	$c_{pi,10}^+ = 0,2$	$c_{pi,10}^- = -0,3$	$c_{pi,10}^+ = 0,2$
$c_{pe,10}^A$	-1,2	-0,733	-1,14	-0,662	-1,03
$c_{pe,10}^B$	-0,8	-0,407	-0,814	-0,368	-0,736
$c_{pe,10}^C$	-0,5	-0,163	-0,57	-0,147	-0,515
$c_{pe,10}^D$	+0,8	0,895	0,488	0,810	0,442
$c_{pe,10}^E$	-0,517	-0,177	-0,584	-0,160	-0,528

Tabulka 3.6 Hodnoty tlaků na jednotlivých větrných oblastech na stěnách

Hodnota rovnoměrného spojitého zatížení je součinem tlaku větru, respektive v tomto případě sání, a roznášející šířky rámu. Hodnota zatížení na rámu je tedy:

$$g_{vitr} = w_k(b) \cdot 3,01 = -1,03 \cdot 3,015 = -3,105 \frac{kN}{m}$$

Zatížení od sněhu

Objekt se nachází ve IV. sněhové oblasti $\Rightarrow s_k = 2 \frac{kN}{m^2}$

Typ krajiny - normální $\Rightarrow C_e = 1,0$

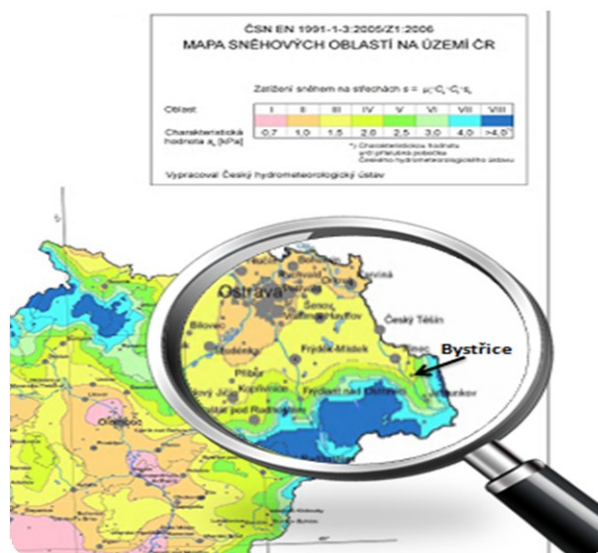
Tepelná prostupnost střechy je $< 1 \text{ W/(m}^2 \text{ K)} \Rightarrow C_t = 1,0$

Sklon střechy $\alpha = 43^\circ \Rightarrow \mu_1 = 0,453$

Jelikož jsou na střeše umístěny zachytávače sněhu nesmí dle normy klesnout velikost μ_1 pod hodnotu 0,8 $\Rightarrow \mu_1 = 0,8$

Charakteristická hodnota zatížení od sněhu:

$$s = \mu_1 \cdot C_e \cdot C_t \cdot s_k = 0,8 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 2 = 1,6 \frac{kN}{m^2} \quad (3.21)$$



Obrázek 3.17 Zobrazení obce Bystřice nad Olší na mapě sněhových oblastí

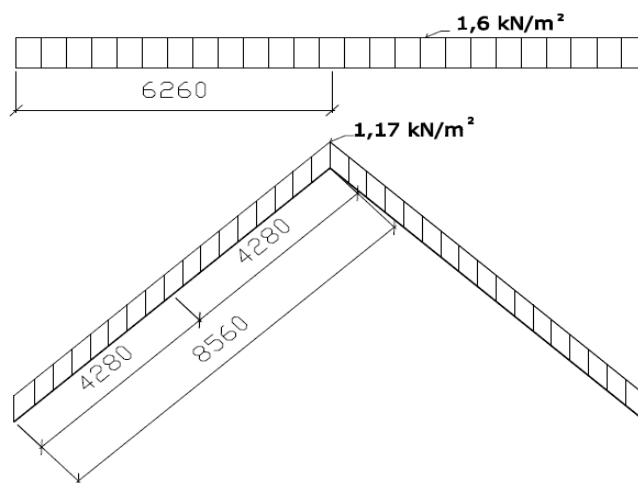
Roznesená hodnota zatížení se vypočítá dle vztahu 3.22., který vychází z rovnosti náhradních břemen - součin charakteristické hodnoty a půdorysné délky je roven součinu roznesené hodnoty a šikmé délky střešní roviny, která je znázorněná na obrázku 3.18.

$$s \cdot 6,26 = s_{\text{roznesené}} \cdot 8,56 \quad (3.22)$$

$$s_{\text{roznesené}} = \frac{1,6 \cdot 6,26}{8,56} = 1,17 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

Zatížení na krajním rámu je hodnota rozneseného zatížení na průmět, vynásobená polovinou délky zastřešení.

$$g_{\text{snih}} = s_{\text{roznesené}} \cdot 4,28 = 1,17 \cdot 4,28 = 5 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$



Obrázek 3.18 Znázornění zatížení sněhem - jeho hodnota na půdorys a na průmět

Na terasách bude velikost zatížení od sněhu hodnota vypočítaná ve vztahu 3.21.

Zatížení od ocelových ráků

Ocelové ráky nesou ocelobetonový strop nad 4.NP a užiténé zatížení v 5.NP.

Podrobněji jsou zatížení popsána v tabulkách níže.

Stálé zatížení

popis	g_k [kN/m ²]	γ_g [–]	g_d [kN/m ²]
keramická dlažba, tl. 15 mm, $\rho = 2200 \text{ kg/m}^3$	0,33	1,35	0,446
Vyrovnávací nivelační stěrka, tl. 5 mm, $\rho = 1950 \text{ kg/m}^3$	0,098	1,35	0,132
Anhydrit + podlahové topení, tl. 65 mm, $\rho = 2100 \text{ kg/m}^3$	1,365	1,35	1,843
Kročejová izolace - deska EPS T4, tl. 20 mm, $\rho = 23 \text{ kg/m}^3$	0,005	1,35	0,006
Betonová deska, tl. 50 mm nad vlnu plechu, $\rho = 2500 \text{ kg/m}^3$	1,75	1,35	2,363
Trapézový plech, tl. 0,63 mm, $\gamma = 6,47 \text{ kg/m}^2$	0,065	1,35	0,087
Stropnice I 160, $A = 2,01 \cdot 103 \text{ mm}^2$, $\rho = 7850 \text{ kg/m}^3$	0,157	1,35	0,212
SDK deska požární, tl. 12,5 mm, $\rho = 750 \text{ kg/m}^3$	0,094	1,35	0,127
Omítka, tl. 10 mm, $\rho = 1800 \text{ kg/m}^3$	0,18	1,35	0,243
Σ	4,043		5,457

Tabulka 3.7 Zatížení přenášené ocelovými ráky

popis	F_k [kN]	γ_g [–]	F_d [kN]
Vlastní tíha ráků, $G = 68,2 \text{ kg/m}$, délka poloviny 8,48 m	5,783	1,35	7,81

Tabulka 3.8 Hodnoty zatížení od vlastní tíhy ráků

Užitné zatížení

popis	q_k [kN/m ²]	γ_g [–]	q_d [kN/m ²]
Obytné prostory - kategorie A	2,0	1,5	3,0

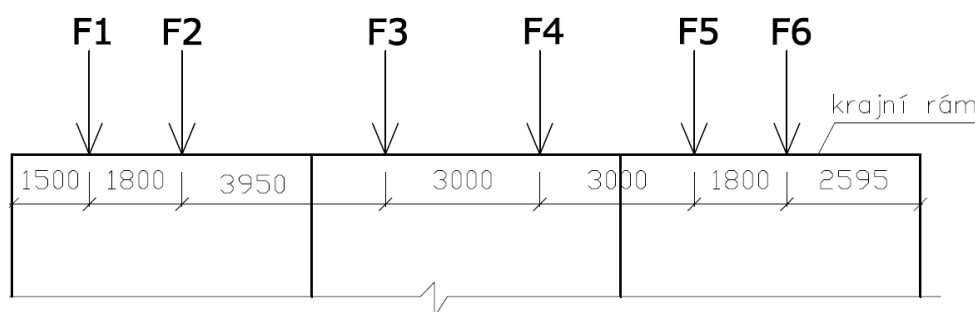
Tabulka 3.9 Hodnoty užiténého zatížení

Bodové zatížení se vypočítá vztahem 3.23:

$$F_{\text{rám}} = (g + q) \cdot l_x \cdot l_y + F \quad (3.23)$$

	$F1_{k,\text{rám}}$ [kN]	$F2_{k,\text{rám}}$ [kN]	$F3_{k,\text{rám}}$ [kN]	$F4_{k,\text{rám}}$ [kN]	$F5_{k,\text{rám}}$ [kN]	$F6_{k,\text{rám}}$ [kN]
Roznášecí šířka l_x [m]	2,4	2,875	3,475	3,0	2,4	3,575
$l_y = 4,92 \text{ m}$	77,139	91,255	109,093	94,971	77,139	112,066

Tabulka 3.10 Velikosti jednotlivých břemen, působících na krajní rám v místech ukotvení ocelových rámu



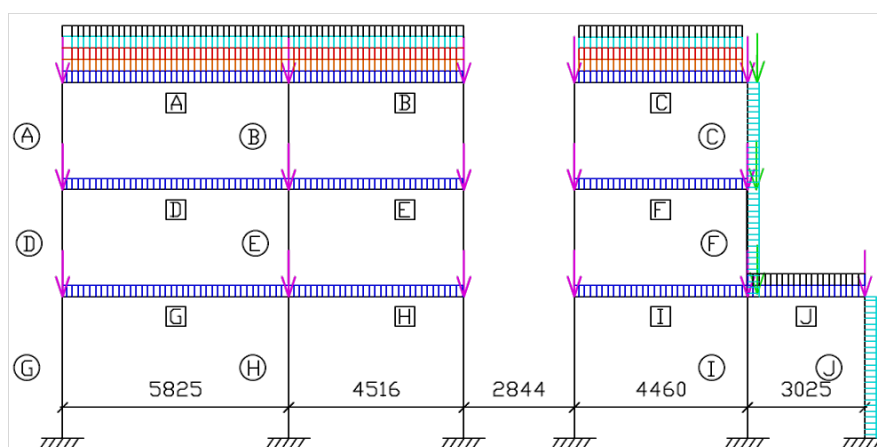
Obrázek 3.19 Zobrazení působišť jednotlivých břemen od ocelových rámu

Vlastní tíha železobetonové rámové konstrukce

Pro výpočet vnitřních sil v programu Scia Engineer je kromě všech uvedených zatížení uvažováno také zatížení od vlastní tíhy konstrukce. Toto zatížení je programem počítáno ze zadaných průřezů jednotlivých prvků. Předběžně byly zvoleny průřezy sloupů v 1.NP o rozměrech 450x450 mm a na ně uložené trámy o rozměrech 450x500 mm. Ve 2. a 3.NP pak odhaduji sloupy 400x400 mm a trámy 400x500 mm.

3.2 Střední rám ve směru x

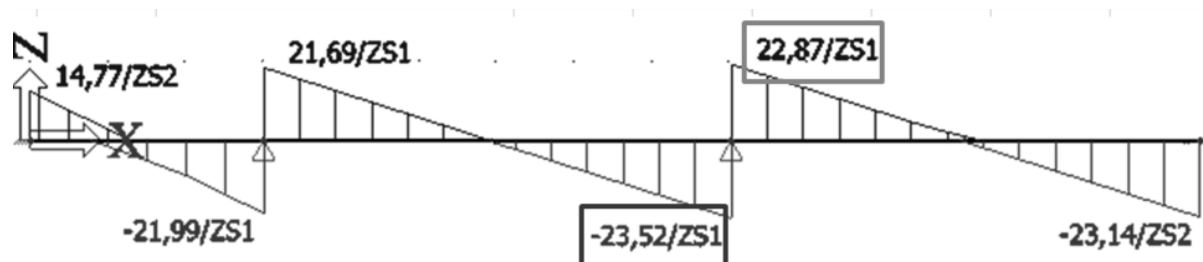
- Roznesená reakce od zatížení na stropní desce v y směru
- Reakce od zatížení na stropní desce z x směru
- Zatížení od obvodové zdi
- Zatížení od střední zdi
- Zatížení od střešního pláště
- Zatížení od větru
- Zatížení od sněhu
- + Vlastní tíha rámové konstrukce



Obrázek 3.20 Schéma zatížení na středním rámu

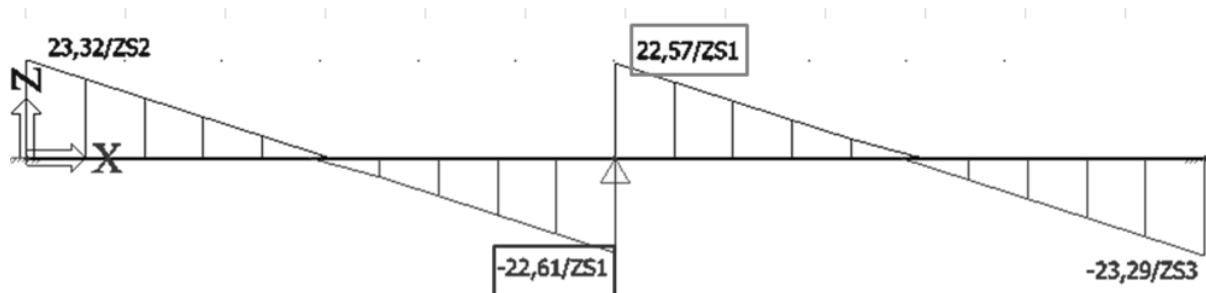
Roznesená reakce od zatížení na stropní desce ve směru y

Ve 2.NP vznikla největší reakce na středním rámu ve směru y v 1.ZS. Hodnota zatížení je rovna $g_{reakce,y,2.NP} = 46,39 \frac{kN}{m}$.



Obrázek 3.21 Posouvající síly na spojitém nosníku Y ve 2.NP

Ve 3. a 4. NP vznikla největší reakce ve směru y také v 1.ZS. Hodnota zatížení je rovna $g_{reakce,y,3.a4.NP} = 45,18 \frac{kN}{m}$.



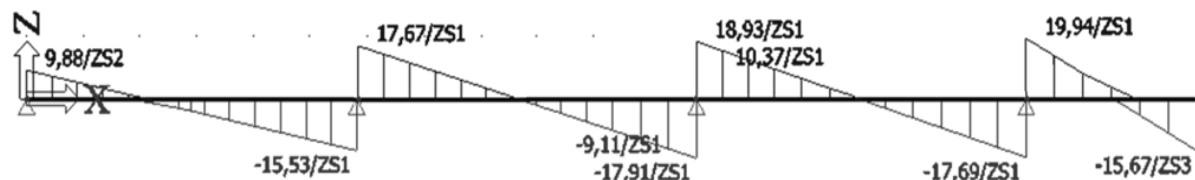
Obrázek 3.22 Maximální posouvající síly na spojitém nosníku Y ve 3. a 4.NP

Reakce od zatížení na stropní desce ze směru x

Hodnoty jednotlivých bodových sil jsou součty maximálních posouvajících sil, vynásobených roznášecí šířkou $b = 6,025$ m. Velikosti břemen ve 2.NP jsou zleva doprava uvedeny v tabulce. Hodnoty posouvajících sil jsou na obrázku 3.23.

	$F1_{k,2.NP}$ [kN]	$F2_{k,2.NP}$ [kN]	$F3_{k,2.NP}$ [kN]	$F4_{k,2.NP}$ [kN]	$F5_{k,2.NP}$ [kN]	$F6_{k,2.NP}$ [kN]
reakce	9,88	33,2	9,11	10,37	37,63	15,67
	59,527	200,03	54,888	62,479	226,721	94,412

Tabulka 3.11 Hodnoty reakcí z x směru ve 2.NP

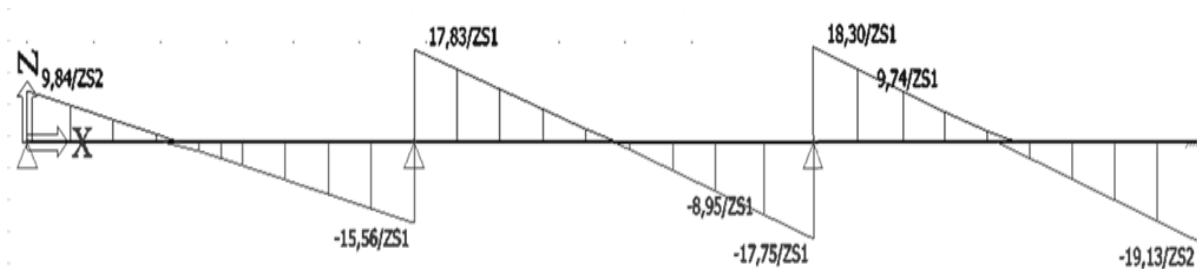


Obrázek 3.23 Maximální posouvající síly na spojitém nosníku X1 ve 2.NP s uvedením hodnot v místech, kde je rám přerušen ŽB jádrem

Velikosti břemen ve 3. a 4.NP jsou uvedeny také zleva doprava v tabulce. Hodnoty posouvajících sil jsou na obrázku 3.24.

	$F1_{k,2.NP}$ [kN]	$F2_{k,2.NP}$ [kN]	$F3_{k,2.NP}$ [kN]	$F4_{k,2.NP}$ [kN]	$F5_{k,2.NP}$ [kN]
reakce	9,84	33,39	8,95	9,74	19,13
	59,286	201,175	53,924	58,684	115,258

Tabulka 3.12 Hodnoty reakcí z x směru ve 3. a 4.NP



Obrázek 3.24 Maximální posouvající síly na spojitém nosníku X1 ve 3. a 4.NP s uvedením hodnot v místech, kde je rám přerušen ŽB jádrem

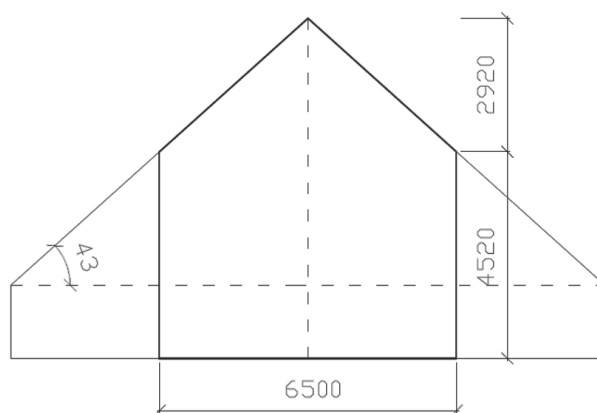
Zatížení od obvodové zdi

Jelikož je tento rám vnitřní, obvodová zeď na něj působí pouze bodově v krajních styčnicích. Velikost tohoto zatížení ve 2. a 3.NP je dána součinem hodnoty vypočítaného zatížení z rovnice 3.1 a roznášecí šířky na rámu $b = 6,025$ m.

$$F_{obvod. zed', 2.NP a 3.NP} = g_{obvod. zed'} \cdot b = 8,885 \cdot 6,025 = 53,532 \text{ kN}$$

Bodové zatížení od zdi ve 4.NP má velikost součinu zatížení od zdi (viz tabulka 3.3) a plochy části štítu, která je zvýrazněna na obr 3.25.

$$F_{obvod. zed', 4.NP} = g_k \cdot A = 3,22 \cdot \left(4,52 + \frac{2,92}{2}\right) \cdot 6,5 = 125,16 \text{ kN}$$



Obrázek 3.25 Schéma štítu s vyznačením části, která je započítávána do středního rámu

Zatížení od střední zdi

Středem 4.NP a 5.NP prochází celou délkou podlaží střední zeď, na níž je uložena vrcholová vaznice krovu. Celková výška zdi je $h = 7,5$ m.

popis	g_k [kN/m ²]	γ_g [–]	g_d [kN/m ²]
Omítka vnitřní, tl. 10 mm, $\rho = 1800$ kg/m ³	0,180	1,35	0,243
Zdivo Porotherm 25 AKU, tl. 250 mm, $\rho = 980$ kg/m ³	2,45	1,35	3,308
Omítka vnitřní, tl. 10 mm, $\rho = 1800$ kg/m ³	0,180	1,35	0,243
Σ	2,81		3,794

Tabulka 3.13 Zatížení od střední zdi

$$g_{\text{střed. zeď, 4.NP}} = g_k \cdot h = 2,81 \cdot 7,5 = 21,075 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

Zatížení od střešního pláště

Spojité rovnoměrné zatížení od vlastní tíhy střešní konstrukce, které zatěžuje střední rám, je dvojnásobně větší než zatížení na krajním rámu. Je rovno součinu zatížení v plošných jednotkách a poloviny šikmé délky obou střešních rovin. Hodnota plošného zatížení je uvedena v tabulce 3.4 a délka je znázorněna na obrázku 3.9.

$$g_{\text{střecha, střed.}} = g_k \cdot 2 \cdot l = 1,039 \cdot 2 \cdot 4,28 = 8,894 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

Zatížení od větru - střecha

Zatížení od větru je součet hodnot plošných zatížení v rámci polovin obou střešních rovin, vynásobených šikmou délkou, na které působí v rámci daných polovin. Hodnoty zatížení na jednotlivých oblastech střechy jsou zobrazeny na obrázku 3.15. Tyto hodnoty jsou dosazeny do vztahu:

$$g_{\text{vitr, střecha, střed}} = w_{k, \text{svislé}}^F(h) \cdot (4,28 - 3,805) + w_{k, \text{svislé}}^H(h) \cdot 3,085 + w_{k, \text{svislé}}^J(h) \cdot 4,28$$

Tudíž po dosazení získáváme výslednou hodnotu rovnoměrného spojitého zatížení:

$$g_{\text{vitr, střecha, střed}} = 0,59 \cdot (4,28 - 3,805) + 0,53 \cdot 3,085 + 0,18 \cdot 4,28$$

$$g_{\text{vitr, střecha, střed}} = 2,686 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

Zatížení od větru - stěny

Střední rám se nachází také v oblasti A, stejně jako krajní rám. Vyznačené hodnoty v tabulce 3.6 platí také pro střední rám. Tlak větru působící na střední rám je tedy:

$$w_k(h) = -1,14 \frac{kN}{m^2}$$

$$w_k(b) = -1,03 \frac{kN}{m^2}$$

Vynásobením roznášející šířky rámu $l = 6,5$ m je získána hodnota rovnoměrného spojitého zatížení:

$$g_{vitr} = w_k(b) \cdot 3,01 = -1,03 \cdot 6,5 = -6,695 \frac{kN}{m}$$

Zatížení od sněhu

Spojitě rovnoměrné zatížení od sněhu, které zatěžuje střední rám, je dvojnásobně větší než zatížení na krajním rámu. Je rovno součinu zatížení v plošných jednotkách a poloviny šikmé délky obou střešních rovin. Dle obrázku 3.18 bude hodnota zatížení sněhem vypočítána následovně:

$$g_{snih, střed.} = s_{roznese\acute{n}\acute{e}} \cdot 2 \cdot l = 1,17 \cdot 2 \cdot 4,28 = 10,015 \frac{kN}{m}$$

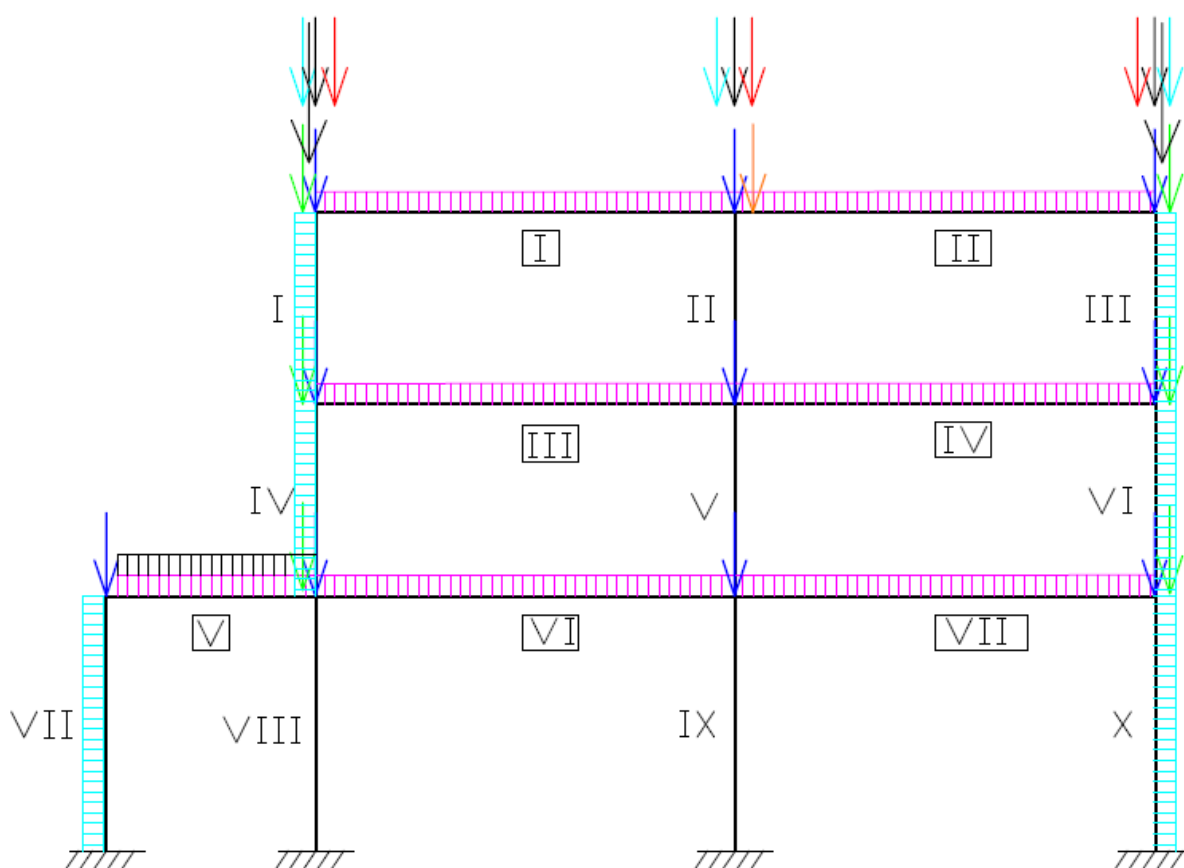
Na terasách bude velikost zatížení od sněhu hodnota vypočítaná ve vztahu 3.21.

Vlastní tíha železobetonové rámové konstrukce

Jak je již zmíněno u krajního rámu předběžně jsou zvoleny průřezy sloupů v 1.NP o rozměrech 450x450 mm a na ně navazující trámy o rozměrech 450x500 mm. Ve 2. a 3.NP pak jsou sloupy 400x400 mm a průvlaky 400x500 mm.

3.3 Rám ve směru y

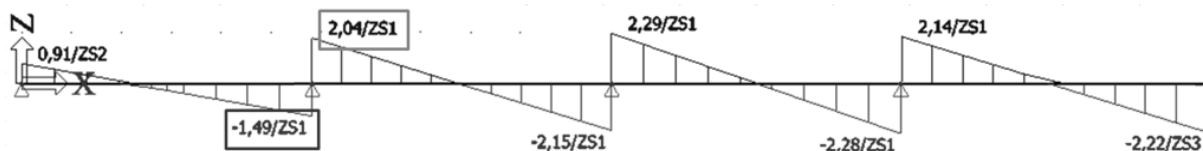
- Roznesená reakce od zatížení na stropní desce ve směru x
- Reakce od zatížení na stropní desce ze směru y
- Zatížení od obvodové zdi
- Zatížení od střední zdi
- Zatížení od střešního pláště
- Zatížení od větru
- Zatížení od sněhu
- Zatížení od ocelových rámu
- + Vlastní tíha rámové konstrukce



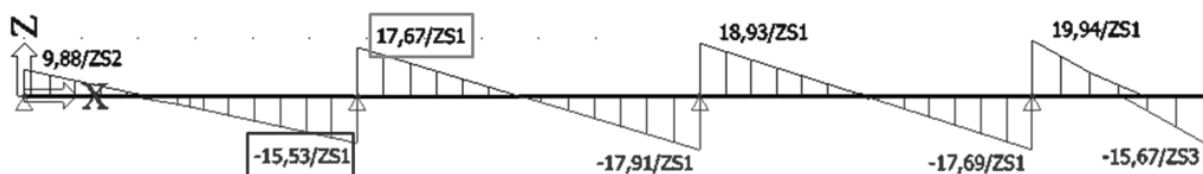
Obrázek 3.26 Schéma zatížení rámu ve směru y

Roznesená reakce od zatížení na stropní desce ve směru x

Ve 2.NP vznikla největší reakce na rámu nad podloubím ve směru x v 1.ZS. Hodnota zatížení je rovna $g_{reakce,x,2.NP,nad\ podloubím} = 3,53 \frac{kN}{m}$. Uvnitř konstrukce vznikla reakce o velikosti $g_{reakce,x,2.NP} = 33,2 \frac{kN}{m}$. Uvedené hodnoty jsou patrné z obrázků 3.27 a 3.28.

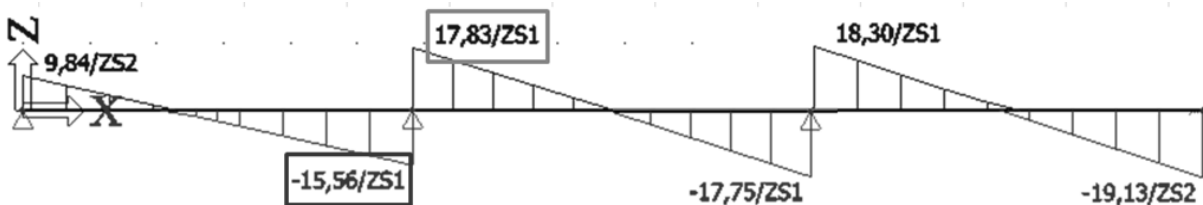


Obrázek 3.27 Posouvající síly na spojitém nosníku X2 ve 2.NP



Obrázek 3.28 Posouvající síly na spojitém nosníku X1 ve 2.NP

Ve 3. a 4. NP vznikla největší reakce ve směru x také v 1.ZS. Hodnota zatížení je rovna $g_{reakce,x,3.a4.NP} = 33,39 \frac{kN}{m}$.



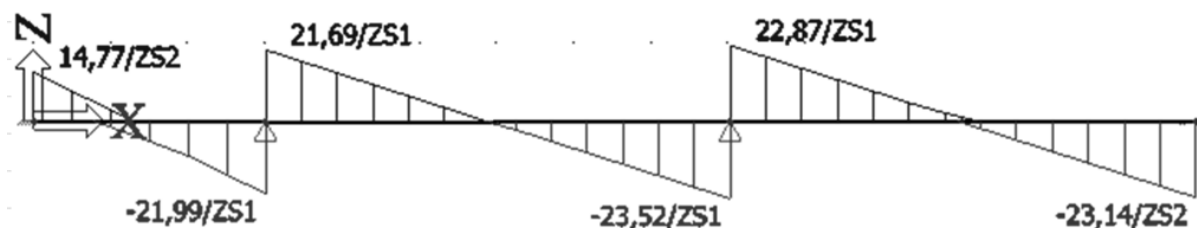
Obrázek 3.29 Maximální posouvající síly na spojitém nosníku X1 ve 3. a 4.NP

Reakce od zatížení na stropní desce ze směru y

Hodnoty jednotlivých bodových sil jsou součty maximálních posouvajících sil, vynásobených roznášecí šířkou $b = 5,9$ m. Tudiž velikosti břemen ve 2.NP jsou zleva doprava uvedeny v tabulce. Hodnoty posouvajících sil jsou na obrázku 3.30.

	$F1_{k,2.NP}$ [kN]	$F2_{k,2.NP}$ [kN]	$F3_{k,2.NP}$ [kN]	$F4_{k,2.NP}$ [kN]
reakce	14,77	43,68	46,39	23,14
	87,143	257,712	273,701	136,256

Tabulka 3.14 Hodnoty bodových sil do jednotlivých styčníků rámu ve 2.NP od zatížení ve směru y

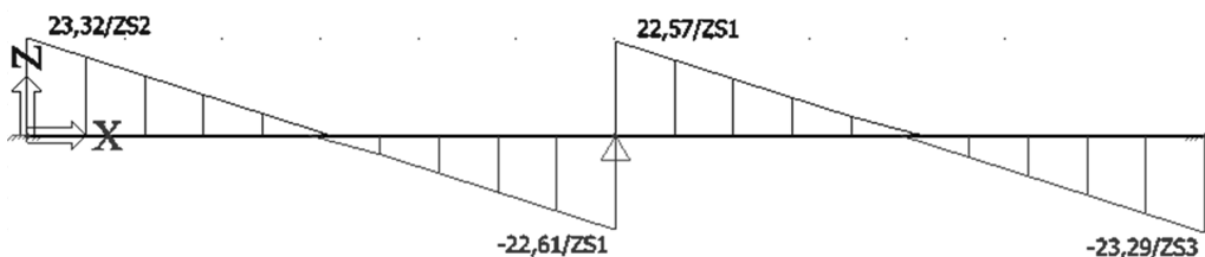


Obrázek 3.30 Maximální posouvající síly na spojitém nosníku Y ve 2.NP

Velikosti břemen ve 3. a 4.NP jsou uvedeny také zleva doprava v tabulce. Hodnoty posouvajících sil jsou na obrázku 3.31.

	$F1_{k,2.NP}$ [kN]	$F2_{k,2.NP}$ [kN]	$F3_{k,2.NP}$ [kN]
reakce	23,32	45,18	23,29
	137,588	266,562	137,411

Tabulka 3.15 Hodnoty bodových sil do jednotlivých styčniců rámu ve 3. a 4.NP od zatížení ve směru y



Obrázek 3.31 Maximální posouvající síly na spojitém nosníku Y ve 3. a 4.NP

Zatížení od obvodové zdi

Jedná se o bodové zatížení v krajních styčnicích rámu. To se získá součinem rovnoměrného spojitého zatížení (viz tabulka 3.3) a roznášecí šířky $b = 5,9$ m. Velikost rovnoměrného spojitého zatížení ve 2. a 3.NP, kde výška zdi je $h = 2,75$ m, je vypočítaná následovně:

$$g_{obvod. zed',2.a3.NP} = g_k \cdot h = 3,22 \cdot 2,75 = 8,855 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

Bodové zatížení ve 2. a 3.NP:

$$F_{obvod. zed',2.a3.NP} = g_{obvod. zed',2.a3.NP} \cdot b = 8,885 \cdot 5,9 = 52,42 \text{ kN}$$

Ve 4. NP je již obvodová zeď vysoká pouze $h = 1,6$ m a zatížení je rovno:

$$g_{obvod. zed',4.NP} = g_k \cdot h = 3,22 \cdot 1,6 = 5,152 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

Bodové zatížení ve 4.NP:

$$F_{obvod. zed',4.NP} = g_{obvod. zed',4.NP} \cdot b = 5,152 \cdot 5,9 = 30,40 \text{ kN}$$

Zatížení od střední zdi

Jedná se o bodové zatížení v prostředním styčnicku ve 4.NP. To se získá součinem plošného zatížení zdi (viz tabulka 3.13), výšky zdi $h = 7,5 \text{ m}$ a roznášecí šířky $b = 5,9 \text{ m}$.

Bodové zatížení je tedy rovno:

$$F_{střed. zed',4.NP} = g_k \cdot h \cdot b = 2,81 \cdot 7,5 \cdot 5,9 = 124,346 \text{ kN}$$

Zatížení od střešního pláště

Vlastní tíha střechy se na rámech ve směru x projeví v podobě rovnoměrného spojitého zatížení. Na rám ve směru y toto zatížení působí jako bodová síla ve styčnicích. Hodnota bodové síly v krajním styčnicku rámu ve směru y je rovna součinu roznášející šířky tohoto rámu a rovnoměrného zatížení od tíhy střešního pláště na krajním rámu. Ve středním styčnicku hodnotu získáme součinem roznášející šířky a rovnoměrného zatížení na středním rámu. Roznášející šířka tohoto rámu je $b = 5,9 \text{ m}$.

Hodnota spojitého zatížení na krajním rámu je vypočtena ve vztahu 3.5:

$$g_{střecha,kraj} = g_k \cdot l = 1,039 \cdot 4,28 = 4,447 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

Bodové zatížení na kraji je tedy rovno:

$$F_{střecha,kraj} = g_{střecha,kraj} \cdot b = 4,447 \cdot 5,9 = 26,237 \text{ kN}$$

Hodnota spojitého zatížení na středním rámu je vypočtena ve vztahu 3.40.:

$$g_{střecha,střed.} = g_k \cdot 2 \cdot l = 1,039 \cdot 2 \cdot 4,28 = 8,894 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

Bodové zatížení je tedy rovno:

$$F_{střecha,střed} = g_{střecha,střed} \cdot b = 8,894 \cdot 5,9 = 52,475 \text{ kN}$$

Zatížení od větru - střecha

Zatížení od větru se přenese do tohoto rámu stejným principem jako tíha střešního pláště. Tedy bodovým zatížením do styčníků, které získáme vynásobením příslušného rovnoměrného zatížení a roznášející délky rámu, což je $b = 5,9 \text{ m}$.

Hodnota spojitého zatížení na krajním rámu je vypočtena dle obrázku 3.15.:

$$g_{vitr,střecha,kraj} = 0,54 \cdot 2,11 + 0,59 \cdot (4,28 - 2,11) = 2,42 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

Bodové zatížení v krajním styčnicku je tedy rovno:

$$\mathbf{F}_{vitr,střecha,kraj,1} = g_{vitr,střecha,kraj} \cdot \mathbf{b} = 2,42 \cdot 5,9 = 14,278 \text{ kN}$$

Hodnota spojitého zatížení na středním rámu má velikost:

$$g_{vitr,střecha,střed} = 2,686 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

Bodové zatížení ve středním styčnicku je tedy rovno:

$$\mathbf{F}_{vitr,střecha,střed} = g_{vitr,střecha,střed} \cdot \mathbf{b} = 2,686 \cdot 5,9 = 15,847 \text{ kN}$$

Bodové zatížení ve styčnicku na druhém okraji je rovno součinu rovnoměrného zatížení a roznášející šířky tohoto rámu. Hodnoty pro výpočet jsou získány z obrázku 3.15.

$$g_{vitr,střecha} = w_{k,svislé}^J(h) \cdot (4,28 - 2,11) + w_{k,svislé}^I(b) \cdot 2,11$$

$$g_{vitr,střecha,kraj2} = 0,18 \cdot (4,28 - 2,11) + 0,16 \cdot 2,11 = 0,728 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$\mathbf{F}_{vitr,střecha,kraj2} = g_{vitr,střecha,kraj2} \cdot \mathbf{b} = 0,728 \cdot 5,9 = 4,295 \text{ kN}$$

Zatížení od větru - stěny

Hodnoty tlaku větru na stěny jsou uvedeny v tabulce s vyznačením hodnot, jenž budou působit na rám ve směru y.

Součinitelé tlaků		$w_k(h) \left[\frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \right]$		$w_k(b) \left[\frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \right]$	
vnější ↓	vnitřní →	$c_{pi,10}^- = -0,3$	$c_{pi,10}^+ = 0,2$	$c_{pi,10}^- = -0,3$	$c_{pi,10}^+ = 0,2$
$c_{pe,10}^A$	-1,2	-0,733	-1,14	-0,662	-1,03
$c_{pe,10}^B$	-0,8	-0,407	-0,814	-0,368	-0,736
$c_{pe,10}^C$	-0,5	-0,163	-0,57	-0,147	-0,515
$c_{pe,10}^D$	+0,8	0,895	0,488	0,810	0,442
$c_{pe,10}^E$	-0,517	-0,177	-0,584	-0,160	-0,528

Tabulka 3.16 Hodnoty jednotlivých tlaků na stěny

Velikosti rovnoměrných spojitých zatížení jsou rovna součinům tlaků (resp. sání) a roznášecí šířky rámu $l = 5,9 \text{ m}$. Na kraji rámu v oblasti D je zatížení rovno:

$$g_{vitr,D} = w_k(b) \cdot 5,9 = 0,81 \cdot 5,9 = 4,779 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$g_{vitr,E} = w_k(b) \cdot 5,9 = -0,16 \cdot 5,9 = -0,944 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

Zatížení od sněhu

Opět platí stejný princip jako u zatížení od střešního pláště. Velikost rovnoměrného zatížení na krajním rámu je dána vztahem:

$$g_{snih} = s_{roznese\acute{n}\acute{e}} \cdot 4,28 = 1,17 \cdot 4,28 = 5 \frac{kN}{m}$$

Dosazené hodnoty jsou patrné z obrázku 3.18. Součin této hodnoty s roznášecí šířkou je roven bodové síle v krajních styčnících:

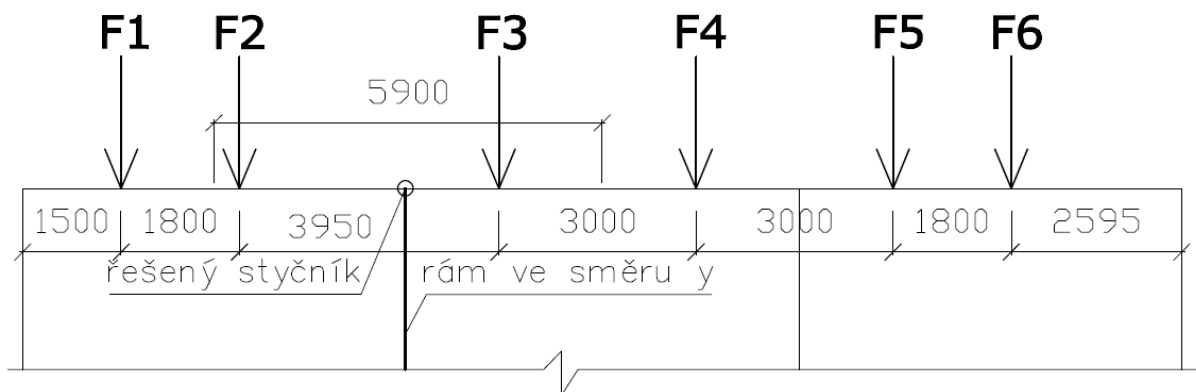
$$F_{snih,kraj} = g_{snih} \cdot b = 5 \cdot 5,9 = 29,5 \text{ kN}$$

Velikost rovnoměrného zatížení na středním rámu je dvojnásobná, a proto bodová síla ve středním styčníku bude dvojnásobek síly v krajním styčníku:

$$F_{snih,střed} = 2 \cdot F_{snih,kraj} = 2 \cdot 29,5 = 59 \text{ kN}$$

Zatížení od ocelových rámu

Rozmístění ocelových rámu je velmi nepravidelné. V oblasti roznášející šířky se nachází dva ocelové rámy. Zjednodušeně byl zvolen předpoklad, že se do krajních styčníků tohoto rámu přenesou síly z rámu č.2 a č.3, jejichž velikosti jsou uvedeny v tabulce 3.10. Tedy $F_{2,k,rám} = 91,255 \text{ kN}$ a $F_{3,k,rám} = 109,093 \text{ kN}$.



Obrázek 3.32 Rozmístění ocelových rámu se zobrazením roznášející šířky řešeného rámu

Oba krajní styčníky rámu ve směru y jsou od ocelových rámu zatíženy silou:

$$F_{ocel.rámy} = F_{2,k,rám} + F_{3,k,rám} = 91,255 + 109,093 = 200,348 \text{ kN}$$

Vlastní tíha železobetonové rámové konstrukce

Jak je již zmíněno výše předběžně byly zvoleny průřezy sloupů v 1.NP o rozměrech 450x450 mm a na ně navazující průvlaky o rozměrech 450x500 mm. Ve 2. a 3.NP jsou pak zvoleny sloupy 400x400 mm a průvlaky 400x500 mm.

4 SLOUPY

4.1 Návrh

Materiál

Stejně jako u ostatních navrhovaných prvků železobetonové konstrukce volím:

Třída betonu: C25/30

$$f_{ck} = 25 \text{ MPa}$$

$$f_{cd} = \frac{f_{ck}}{\gamma_M} = \frac{25}{1,5} = 16,67 \text{ MPa}$$

Třída oceli: B 500 B

$$f_{yk} = 500 \text{ MPa}$$

$$f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_M} = \frac{500}{1,15} = 434,783 \text{ MPa}$$

Krytí výztuže

Stupeň vlivu prostředí: suché \Rightarrow XC1

konstrukční třída: S4 \Rightarrow objekty o návrhové životnosti 50 let

Předběžný průměr třmínků: 6 mm

Předběžný průměr hlavní výztuže: 22 mm

krytí třmínků

$$c_{min,sw} = \max(6; 15; 10 \text{ mm}) = 15 \text{ mm}$$

krytí hlavní výztuže

$$c_{min,1} = \max(22; 15; 10 \text{ mm}) = 22 \text{ mm}$$

$$c_{min,2} = c_{min,sw} + \emptyset_{sw} = 15 + 6 = 21 \text{ mm}$$

Dosazení do vztahu 2.2:

$$c_{nom} = c_{min} + \Delta c_{dev} = 22 + 8 = 30 \text{ mm}$$

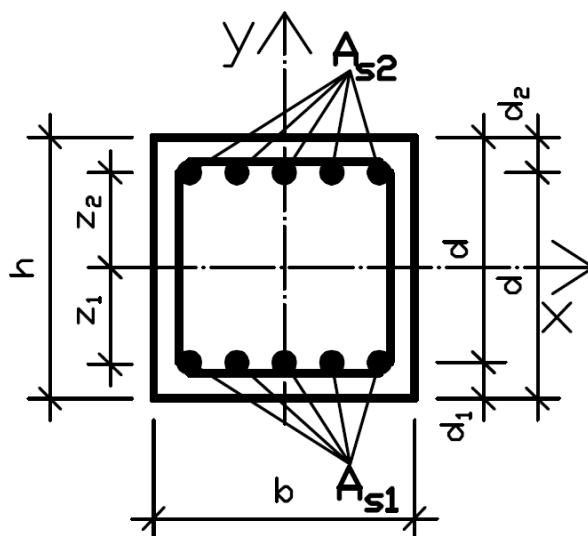
Vzorový výpočet pro sloup 1

Zatížení v hlavě sloupu

$$N_{Ed,max} = -322,44 \text{ kN}$$

$$M_{Ed,max} = -175,69 \text{ kNm}$$

Parametry sloupu



Obrázek 4.1 Schéma průřezu sloupu

$$b = h = 300 \text{ mm}$$

$$d = h - c_{nom} - \phi_{sw} - \frac{\phi}{2} = 300 - 30 - 6 - \frac{22}{2} = 253 \text{ mm} = 0,253 \text{ m}$$

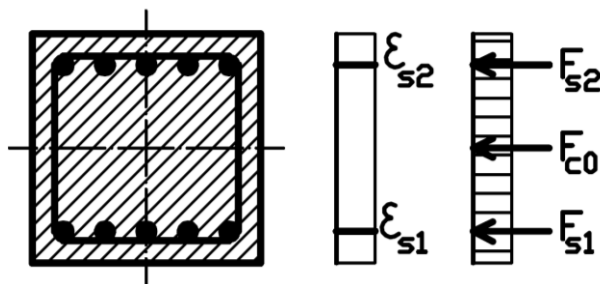
$$d_1 = d_2 = c_{nom} + \phi_{sw} + \frac{\phi}{2} = 30 + 6 + \frac{22}{2} = 47 \text{ mm}$$

$$z_1 = z_2 = \frac{h - d_1 - d_2}{2} = \frac{300 - 47 - 47}{2} = 103 \text{ mm} = 0,103 \text{ m}$$

$$A_{s1} = A_{s2} = \pi \cdot r^2 \cdot n = \pi \cdot \left(\frac{22}{2}\right)^2 \cdot 5 = 1900,664 \text{ mm}^2 = 1,9 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$$

4.2 Posouzení - interakční diagram

Bod 0: celý průřez je tlačný



Obrázek 4.2 Dostředný tlak, bod „0“

$$E_s = 200 \text{ GPa}$$

$$\varepsilon_{s1} = \varepsilon_{s2} = 0,002$$

$$\sigma_{s1} = \sigma_{s2} = E_s \cdot \varepsilon_s = 200 \cdot 0,002 = 0,4 \text{ GPa} = 400 \text{ MPa}$$

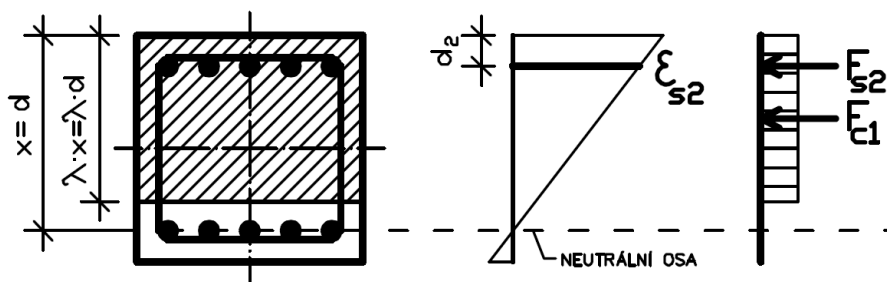
Síla a moment únosnosti:

$$N_{Rd,0} = F_c + F_{s1} + F_{s2} = b \cdot h \cdot f_{cd} + A_{s1} \cdot \sigma_{s1} + A_{s2} \cdot \sigma_{s2}$$

$$N_{Rd,0} = 0,3 \cdot 0,3 \cdot 16,66 \cdot 10^3 + 2 \cdot 1,9 \cdot 10^{-3} \cdot 400 \cdot 10^3 = \mathbf{3020,53 \text{ kN}}$$

$$M_{Rd,0} = A_{s2} \cdot \sigma_{s2} \cdot z - A_{s1} \cdot \sigma_{s1} \cdot z = \mathbf{0 \text{ kNm}}$$

Bod 1: neutrální osa prochází těžištěm výztuže



Obrázek 4.3 Neutrální osa prochází v těžišti výztuže, "bod 1"

$$\varepsilon_{cu} = 0,0035$$

$$\varepsilon_{s1} = 0 \Rightarrow \sigma_{s1} = 0$$

$$\frac{\varepsilon_{cu}}{x} = \frac{\varepsilon_{s2}}{x - d_2}$$

$$\varepsilon_{s2} = \frac{\varepsilon_{cu}}{x} \cdot (x - d_2) = \frac{0,0035}{0,253} \cdot (0,253 - 0,047) = 0,0028$$

$$\varepsilon_{yd} = \frac{f_{yd}}{E_s} = \frac{434,783}{200 \cdot 10^3} = 0,0022$$

$$\varepsilon_{s2} = 0,0028 > \varepsilon_{yd} = 0,0022$$

$$\varepsilon_{s2} > \varepsilon_{yd} \Rightarrow \sigma_{s2} = f_{yd} = 434,783 \text{ MPa}$$

Síla a moment únosnosti:

$$N_{Rd,1} = F_c + F_{s2} = 0,8 \cdot x \cdot b \cdot f_{cd} + A_{s2} \cdot \sigma_{s2}$$

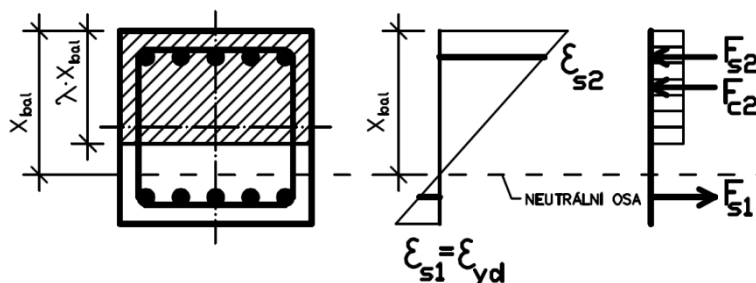
$$N_{Rd,1} = 0,8 \cdot 0,253 \cdot 0,3 \cdot 16,66 \cdot 10^3 + 1,9 \cdot 10^{-3} \cdot 434,783 \cdot 10^3 = \mathbf{1838,375 \text{ kN}}$$

$$M_{Rd,1} = 0,8 \cdot x \cdot b \cdot f_{cd} \cdot \left(\frac{h}{2} - 0,4 \cdot x \right) + A_{s2} \cdot \sigma_{s2} \cdot z_2$$

$$M_{Rd,1} = 0,8 \cdot 0,253 \cdot 0,3 \cdot 16,66 \cdot 10^3 \cdot \left(\frac{0,3}{2} - 0,4 \cdot 0,253 \right) + 0,0019 \cdot 434,783 \cdot 10^3 \cdot 0,103$$

$$M_{Rd,1} = \mathbf{134,502 \text{ kNm}}$$

Bod 2: napětí v tažené výztuži je na mezi kluzu



Obrázek 4.4 Maximální ohybový moment, "bod 2"

$$\varepsilon_{cu} = 0,0035$$

$$\varepsilon_{s1} = \varepsilon_{yd} = 0,00183 \Rightarrow \sigma_{s1} = f_{yd} = 434,783 \text{ MPa}$$

Výška tlačené oblasti

$$\frac{\varepsilon_{cu}}{x_{bal,1}} = \frac{\varepsilon_{s1}}{d_2 - x_{bal,1}} = \frac{\varepsilon_{yd}}{d_2 - x_{bal,1}}$$

$$x_{bal,1} = \frac{\varepsilon_{cu} \cdot d}{\varepsilon_{cu} + \varepsilon_{yd}} = \frac{0,0035 \cdot 0,253}{0,0035 + 0,00183} = 0,166$$

Přetvoření tlačené oblasti

$$\varepsilon_{s2} = \frac{\varepsilon_{cu}}{x_{bal,1}} \cdot (x_{bal,1} - d_2) = \frac{0,0035}{0,166} \cdot (0,166 - 0,047) = 0,0025$$

$$\varepsilon_{s2} = 0,0025 > \varepsilon_{yd} = \frac{f_{yd}}{E_s} = \frac{434,783}{200 \cdot 10^3} = 0,0022$$

$$\varepsilon_{s2} > \varepsilon_{yd} \Rightarrow \sigma_{s2} = f_{yd} = 434,783 \text{ MPa}$$

Síla a moment únosnosti

$$N_{Rd,2} = F_c - F_{s1} + F_{s2} = 0,8 \cdot x_{bal,1} \cdot b \cdot f_{cd} - A_{s1} \cdot f_{yd} + A_{s2} \cdot \sigma_{s2}$$

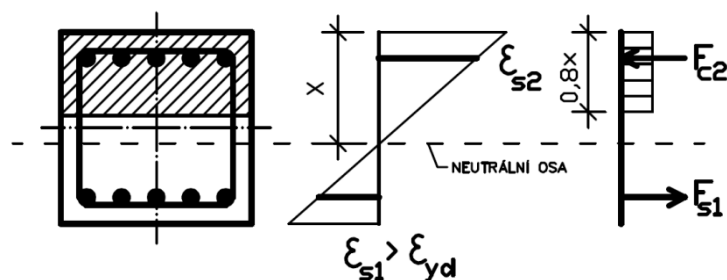
$$N_{Rd,2} = 0,8 \cdot 0,166 \cdot 0,3 \cdot 16,66 \cdot 10^3 - 0,0019 \cdot 434,783 \cdot 10^3 + 0,0019 \cdot 434,783 \cdot 10^3$$

$$N_{Rd,2} = \mathbf{664,54 \text{ kN}}$$

$$M_{Rd,2} = 0,8 \cdot x_{bal,1} \cdot b \cdot f_{cd} \cdot \left(\frac{h}{2} - 0,4 \cdot x_{bal,1} \right) + A_{s1} \cdot f_{yd} \cdot z_1 + A_{s2} \cdot \sigma_{s2} \cdot z_2$$

$$M_{Rd,2} = 0,8 \cdot 0,166 \cdot 0,3 \cdot 16,66 \cdot 10^3 \cdot \left(\frac{0,3}{2} - 0,4 \cdot 0,166 \right) + 1,9 \cdot 10^{-3} \cdot 434,783 \cdot 10^3 \cdot 0,103 + 1,9 \cdot 10^{-3} \cdot 434,783 \cdot 10^3 \cdot 0,103 = \mathbf{225,753 \text{ kNm}}$$

Bod 3: prostý ohyb



Obrázek 4.5 Prostý ohyb bez uvážení tlačené výztuže, "bod 3"

Výška tlačené oblasti

$$x = \frac{F_{s1}}{0,8 \cdot b \cdot f_{cd}} = \frac{A_{s1} \cdot f_{yd}}{0,8 \cdot b \cdot f_{cd}} = \frac{1,9 \cdot 10^{-3} \cdot 434,783 \cdot 10^3}{0,8 \cdot 0,3 \cdot 16,66 \cdot 10^3} = 0,207$$

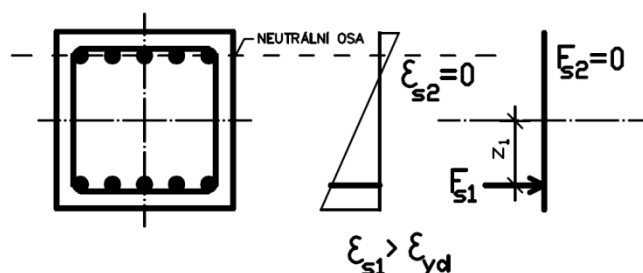
Síla a moment únosnosti

$$N_{Rd,3} = F_c - F_{s1} = 0,8 \cdot x \cdot b \cdot f_{cd} - A_{s1} \cdot f_{yd} = 0 \text{ kN}$$

$$M_{Rd,3} = 0,8 \cdot x \cdot b \cdot f_{cd} \cdot (d - 0,4 \cdot x)$$

$$M_{Rd,3} = 0,8 \cdot 0,207 \cdot 0,3 \cdot 16,66 \cdot 10^3 \cdot (0,253 - 0,4 \cdot 0,207) = \mathbf{140,783 \text{ kNm}}$$

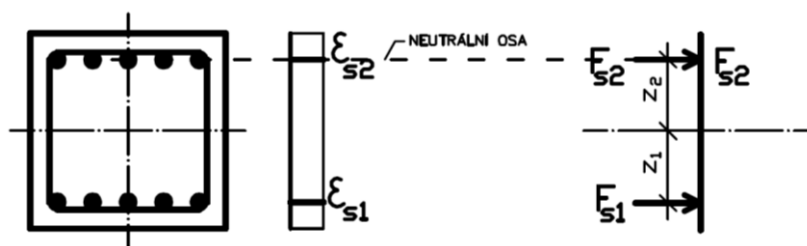
Bod 4: neutrální osa prochází těžištěm výztuže



Obrázek 4.6 Neutrální osa v těžišti výztuže, "bod 4"

$$N_{Rd,4} = F_{s1} = A_{s1} \cdot f_{yd} = 1,9 \cdot 10^{-3} \cdot 434,783 \cdot 10^3 = \mathbf{826,375 \text{ kN}}$$

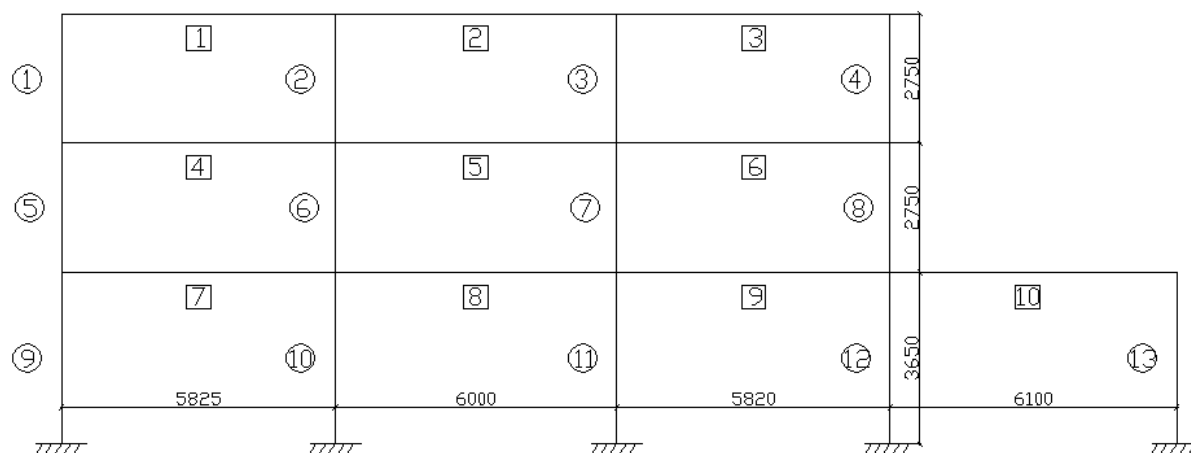
$$M_{Rd,4} = F_{s1} \cdot z_1 = 1,9 \cdot 10^{-3} \cdot 434,783 \cdot 10^3 \cdot 0,103 = \mathbf{85,117 \text{ kNm}}$$

Bod 5: dostředný tah

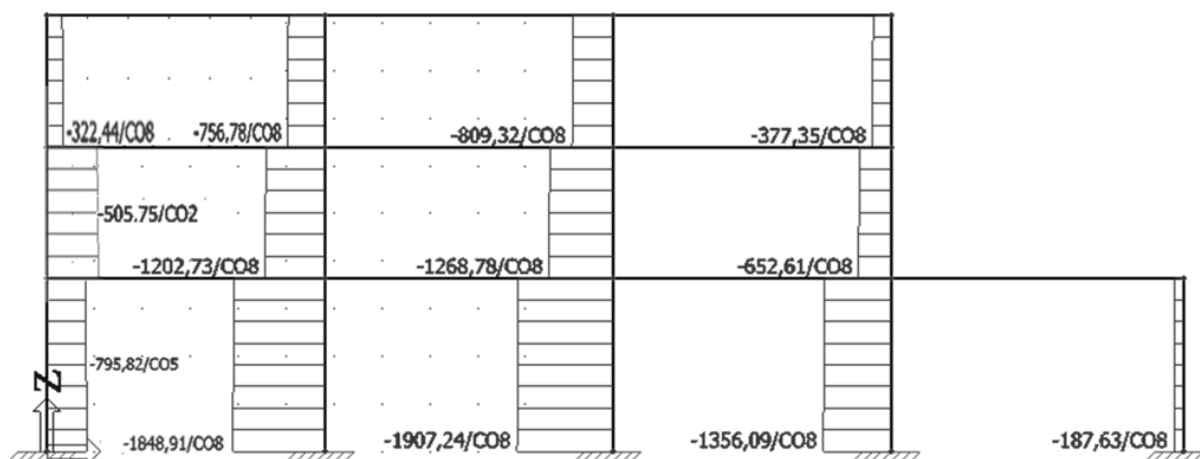
Obrázek 4.7 Dostředný tah, "bod 5"

$$N_{Rd,5} = F_{s1} + F_{s2} = A_{s1} \cdot f_{yd} + A_{s2} \cdot f_{yd} = 2 \cdot 0,0019 \cdot 434,783 \cdot 10^3 = \mathbf{1652,751 \text{ kN}}$$

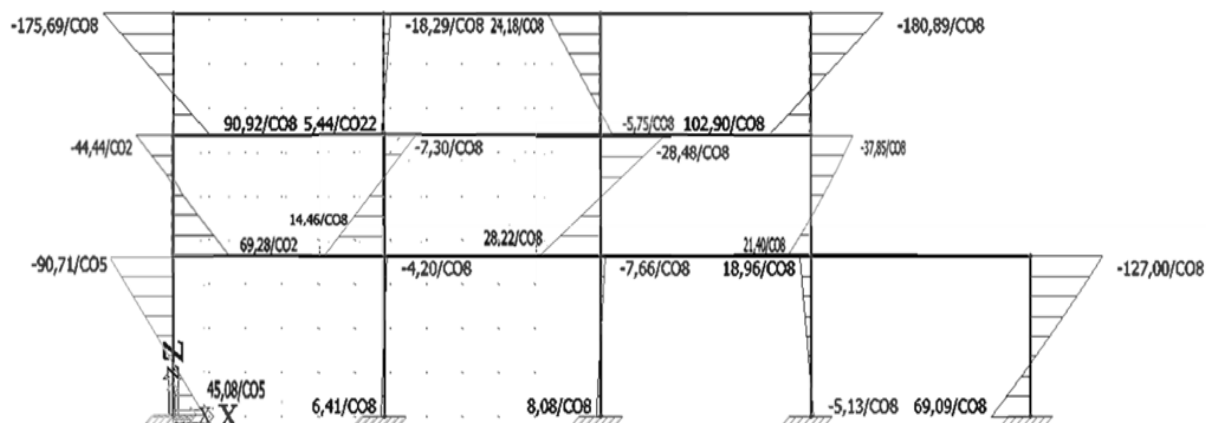
$$M_{Rd,4} = A_{s1} \cdot \sigma_{s1} \cdot z_1 - A_{s2} \cdot \sigma_{s2} \cdot z_2 = \mathbf{0 \text{ kNm}}$$

4.2.1 Sloupy v krajním rámu

Obrázek 4.8 Schéma krajního rámu s označením sloupů a trámů



Obrázek 4.9 Návrhové normálové síly ve sloupec krajního rámu

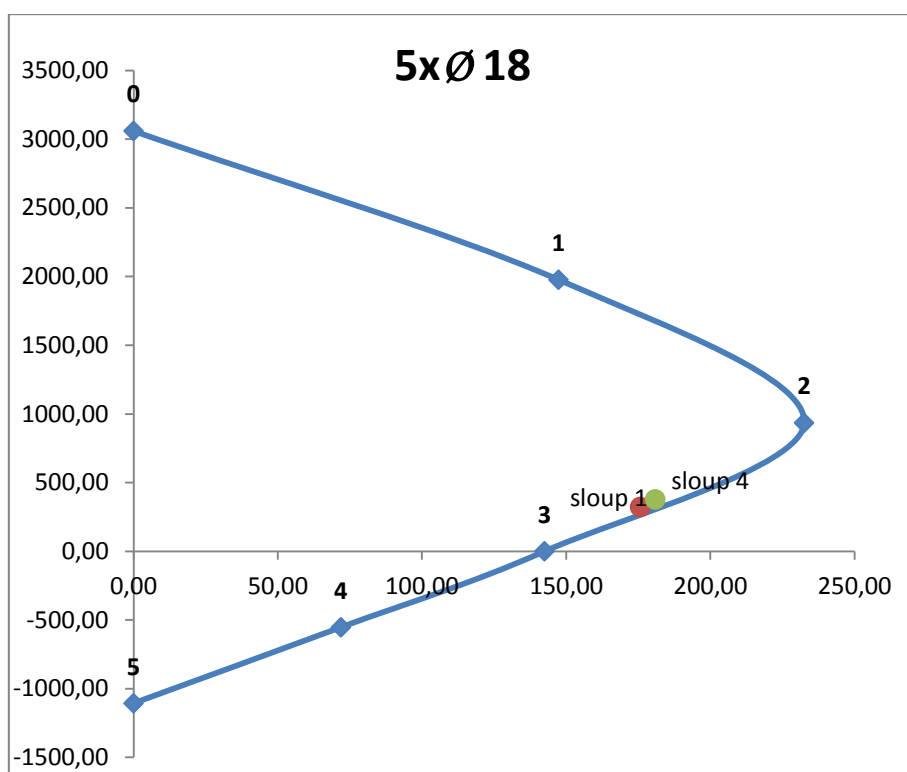


Obrázek 4.10 Příslušné momenty k návrhovým normálovým silám v krajním rámu

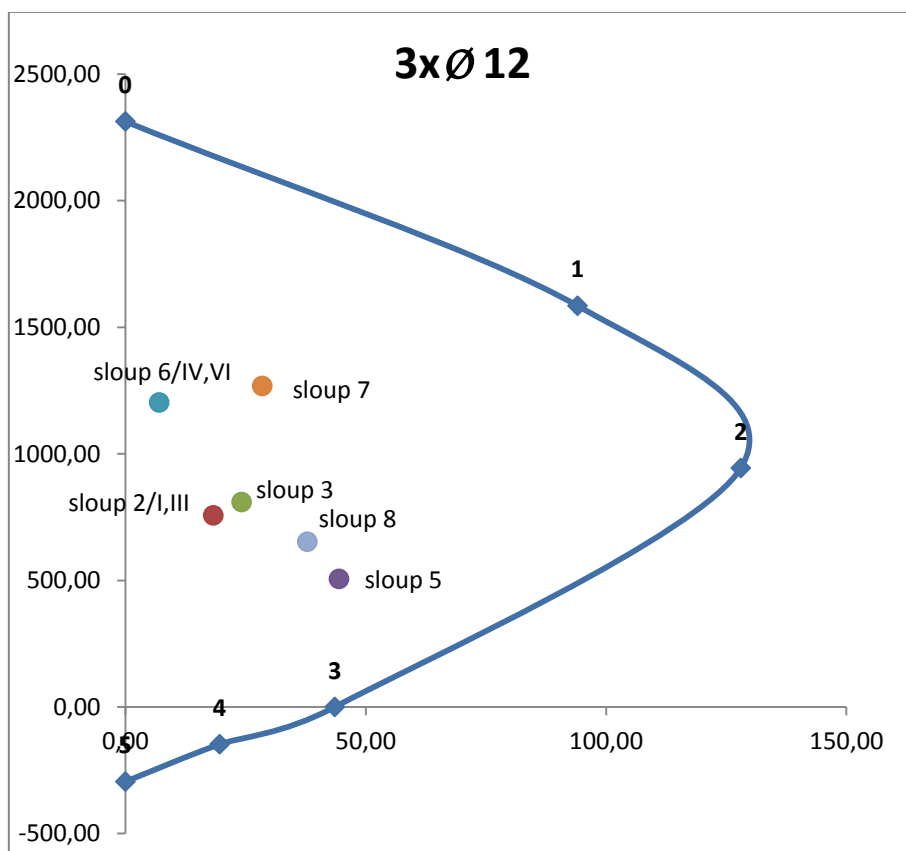
sloup	zatížení v hlavě		rozměr sloupu [mm]	výztuž [mm]			bod 0		bod 1		bod 2		bod 3		bod 4		bod 5	
	N_{ed} [kN]	M_{ed} [kNm]		počet	hlavní	třmínky	$N_{Rd,0}$ [kN]	$M_{Rd,0}$ [kNm]	$N_{Rd,1}$ [kN]	$M_{Rd,1}$ [kNm]	$N_{Rd,2}$ [kN]	$M_{Rd,2}$ [kNm]	$N_{Rd,3}$ [kN]	$M_{Rd,3}$ [kNm]	$N_{Rd,4}$ [kN]	$M_{Rd,4}$ [kNm]	$N_{Rd,5}$ [kN]	$M_{Rd,5}$ [kNm]
1	-322,44	-175,69	350	5x	18	6	3059,54	0,00	1976,53	147,35	934,65	232,52	0,00	142,49	-553,19	71,92	-1106,39	0,00
2	-756,78	-18,29	350	3x	12	6	2313,10	0,00	1584,85	94,07	943,84	128,05	0,00	43,57	-147,52	19,62	-295,04	0,00
3	-809,32	24,18	350	3x	12	6	2313,10	0,00	1584,85	94,07	943,84	128,05	0,00	43,57	-147,52	19,62	-295,04	0,00
4	-377,35	-180,89	350	5x	18	6	3059,54	0,00	1976,53	147,35	934,65	232,52	0,00	142,49	-553,19	71,92	-1106,39	0,00
5	-505,75	-44,44	350	3x	12	6	2313,10	0,00	1584,85	94,07	943,84	128,05	0,00	43,57	-147,52	19,62	-295,04	0,00
6	-1202,7	-7,03	350	3x	12	6	2313,10	0,00	1584,85	94,07	943,84	128,05	0,00	43,57	-147,52	19,62	-295,04	0,00
7	-1268	-28,48	350	3x	12	6	2313,10	0,00	1584,85	94,07	943,84	128,05	0,00	43,57	-147,52	19,62	-295,04	0,00
8	-652,61	-37,85	350	3x	12	6	2313,10	0,00	1584,85	94,07	943,84	128,05	0,00	43,57	-147,52	19,62	-295,04	0,00
9	795,82	90,71	350	3x	16	6	2524,22	0,00	1690,25	109,47	937,71	157,44	0,00	74,35	-262,25	34,36	-524,51	0,00
10	-1848,9	-4,2	350	3x	16	6	2524,22	0,00	1690,25	109,47	937,71	157,44	0,00	74,35	-262,25	34,36	-524,51	0,00
11	-1907,2	-7,66	350	3x	16	6	2524,22	0,00	1690,25	109,47	937,71	157,44	0,00	74,35	-262,25	34,36	-524,51	0,00
12	-1356,1	18,96	350	3x	16	6	2524,22	0,00	1690,25	109,47	937,71	157,44	0,00	74,35	-262,25	34,36	-524,51	0,00
13	-187,63	-127	350	5x	16	6	2845,91	0,00	1865,09	132,37	937,71	203,25	0,00	117,37	-437,09	57,26	-874,18	0,00

Tabulka 4.1 Základní údaje ke sloupům v krajním rámu s uvedením počtu prutů hlavní podélné výztuže u jednoho okraje

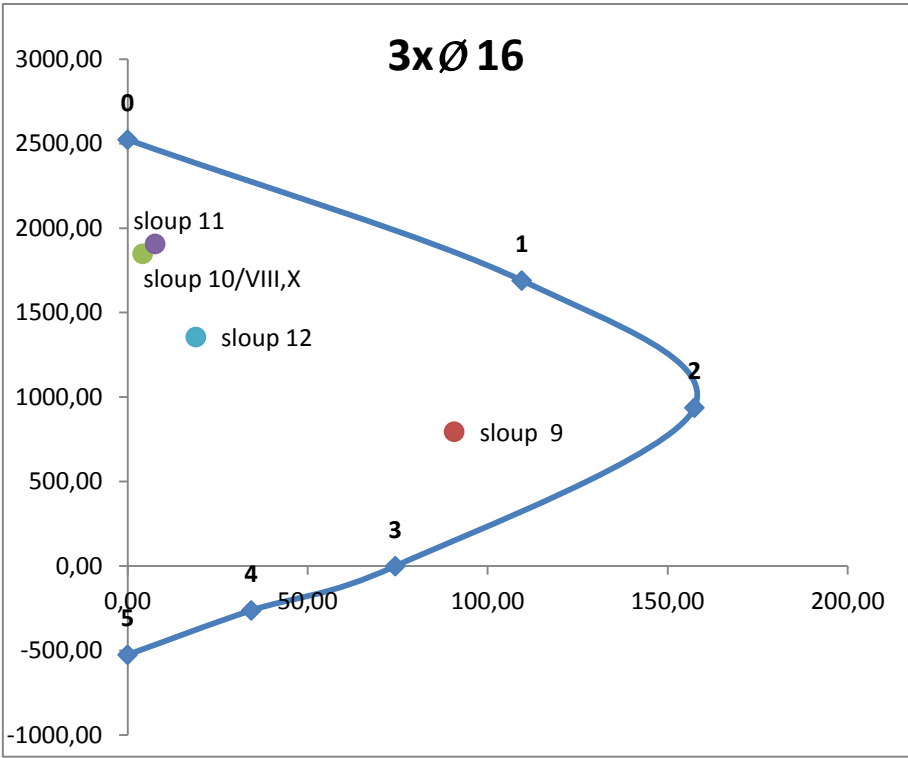
Interakční diagramy



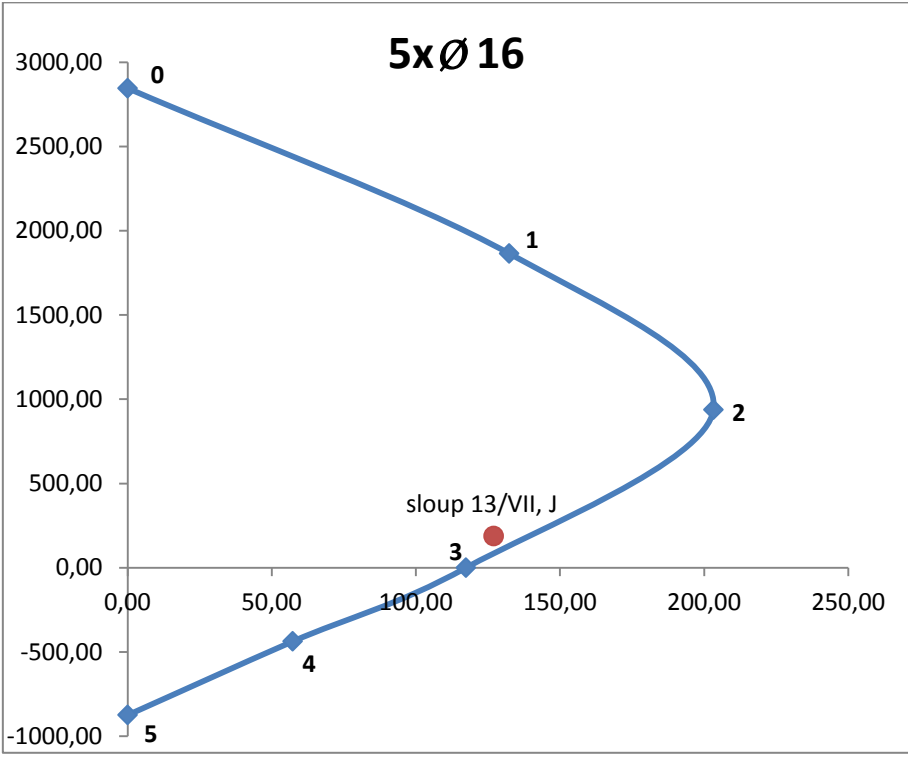
Obrázek 4.11 Interakční diagram sloupů z krajního rámu vyztužených pěti pruty o průměru 18 mm



Obrázek 4.12 Interakční diagram sloupů z krajního rámu vyztužených třemi pruty o průměru 12 mm

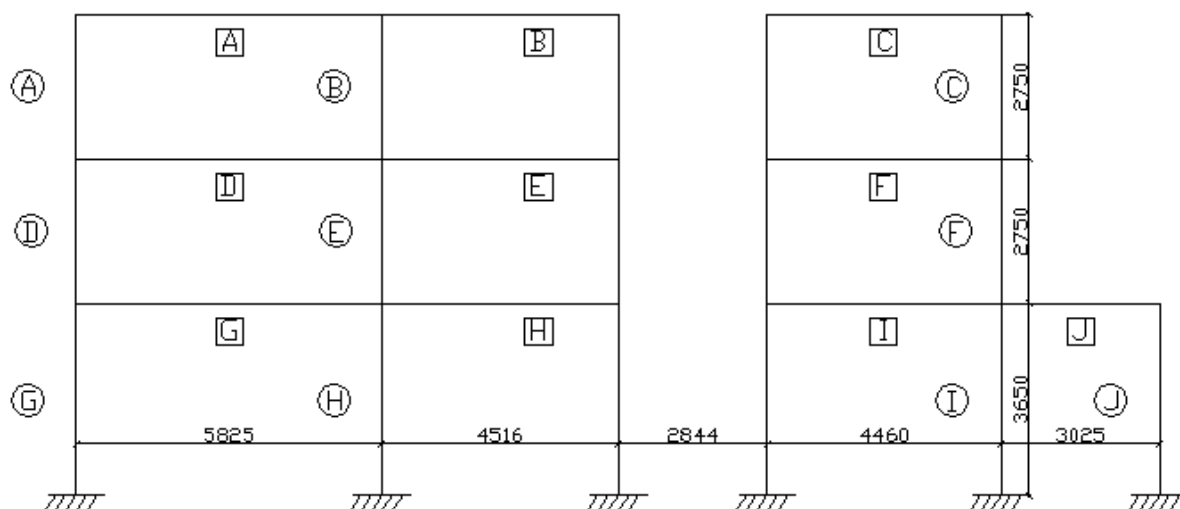


Obrázek 4.13 Interakční diagram sloupů z krajního rámu vyztužených třemi pruty o průměru 16 mm

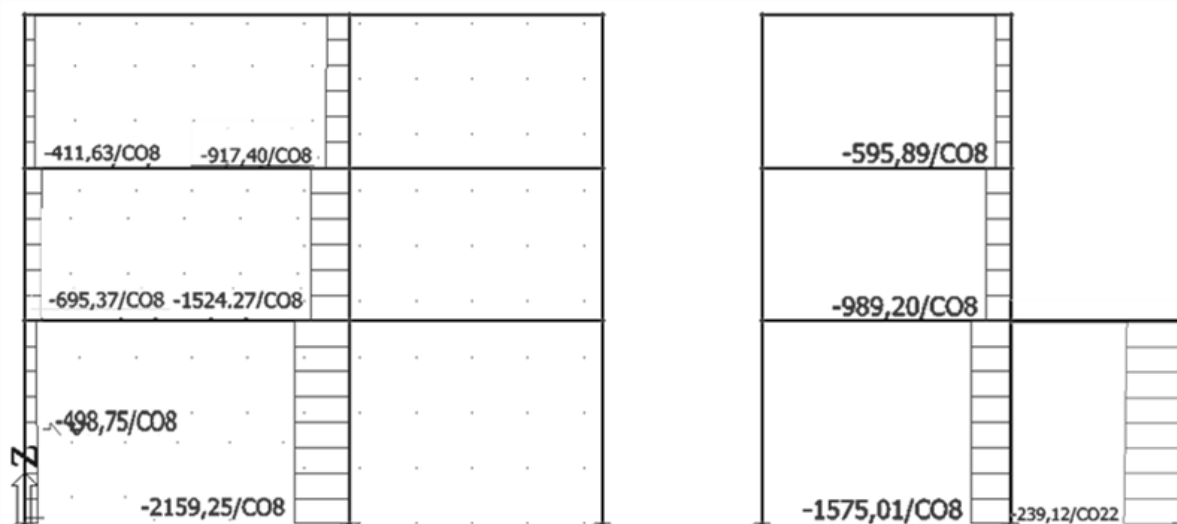


Obrázek 4.14 Interakční diagram sloupu z krajního rámu vyztužených pěti pruty o průměru 16 mm

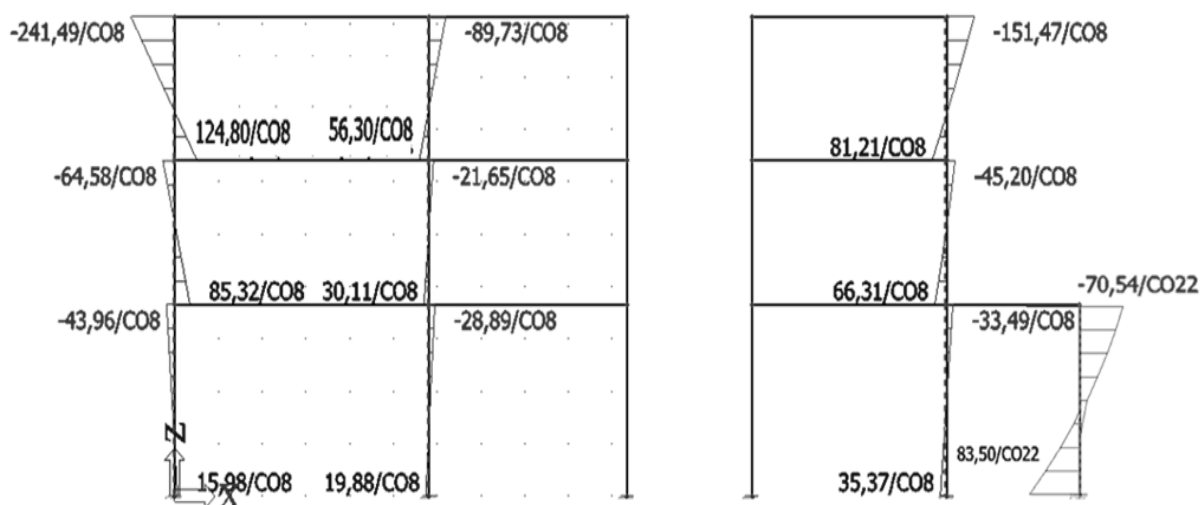
4.2.2 Sloupy ve středním rámu



Obrázek 4.15 Schéma středního rámu s označením sloupů a trámů



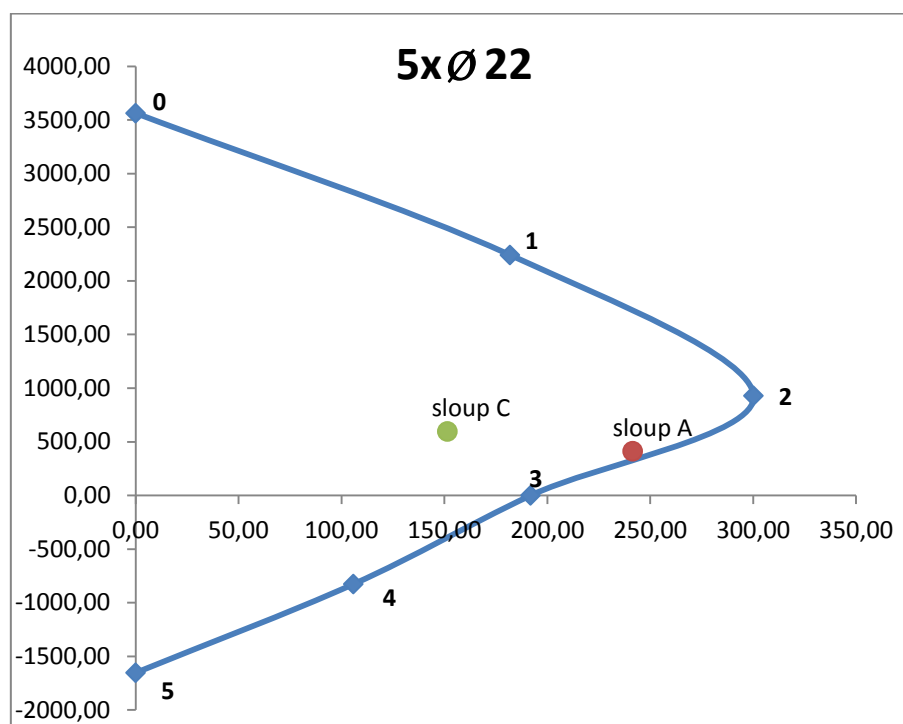
Obrázek 4.16 Návrhové normálové síly ve sloupech středního rámu



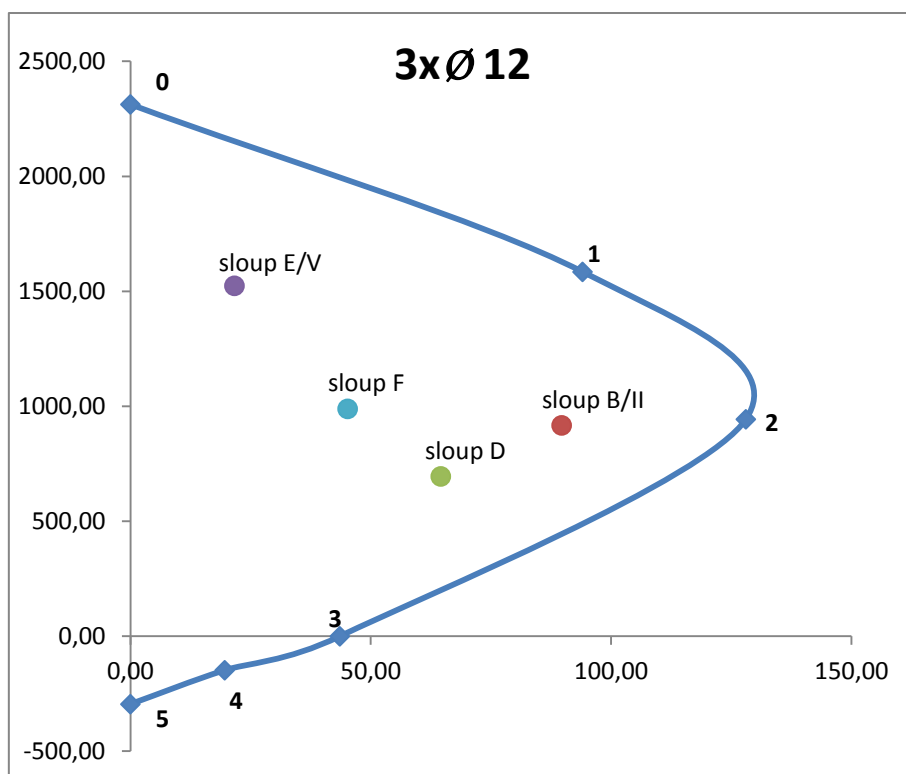
Obrázek 4.17 Příslušné návrhové ohybové momenty ve středním rámu

sloup	zatížení v hlavě		rozměr sloupu [mm]	výztuž [mm]			bod 0		bod 1		bod 2		bod 3		bod 4		bod 5	
	N_{Ed} [kN]	M_{Ed} [kNm]		počet	hlavní	třímníky	$N_{Rd,0}$ [kN]	$M_{Rd,0}$ [kNm]	$N_{Rd,1}$ [kN]	$M_{Rd,1}$ [kNm]	$N_{Rd,2}$ [kN]	$M_{Rd,2}$ [kNm]	$N_{Rd,3}$ [kN]	$M_{Rd,3}$ [kNm]	$N_{Rd,4}$ [kN]	$M_{Rd,4}$ [kNm]	$N_{Rd,5}$ [kN]	$M_{Rd,5}$ [kNm]
A	-411,63	-241,49	350	5x	22	6	3562,20	0,00	2240,38	181,85	928,52	300,14	0,00	191,86	-826,38	105,78	-1652,75	0,00
B	-917,4	-89,73	350	3x	12	6	2313,10	0,00	1584,85	94,07	943,84	128,05	0,00	43,57	-147,52	19,62	-295,04	0,00
C	-595,89	-151,47	350	5x	22	6	3562,20	0,00	2240,38	181,85	928,52	300,14	0,00	191,86	-826,38	105,78	-1652,75	0,00
D	-695,37	-64,58	350	3x	12	6	2313,10	0,00	1584,85	94,07	943,84	128,05	0,00	43,57	-147,52	19,62	-295,04	0,00
E	-1524,27	-21,65	350	3x	12	6	2313,10	0,00	1584,85	94,07	943,84	128,05	0,00	43,57	-147,52	19,62	-295,04	0,00
F	-989,2	-45,2	350	3x	12	6	2313,10	0,00	1584,85	94,07	943,84	128,05	0,00	43,57	-147,52	19,62	-295,04	0,00
G	-498,75	-43,96	350	3x	16	6	2524,22	0,00	1690,25	109,47	937,71	157,44	0,00	74,35	-262,25	34,36	-524,51	0,00
H	-2159,25	-28,89	350	3x	16	6	2524,22	0,00	1690,25	109,47	937,71	157,44	0,00	74,35	-262,25	34,36	-524,51	0,00
I	-1575,01	-33,49	350	3x	16	6	2524,22	0,00	1690,25	109,47	937,71	157,44	0,00	74,35	-262,25	34,36	-524,51	0,00
J	-239,12	70,54	350	5x	16	6	2845,91	0,00	1865,09	132,37	937,71	203,25	0,00	117,37	-437,09	57,26	-874,18	0,00

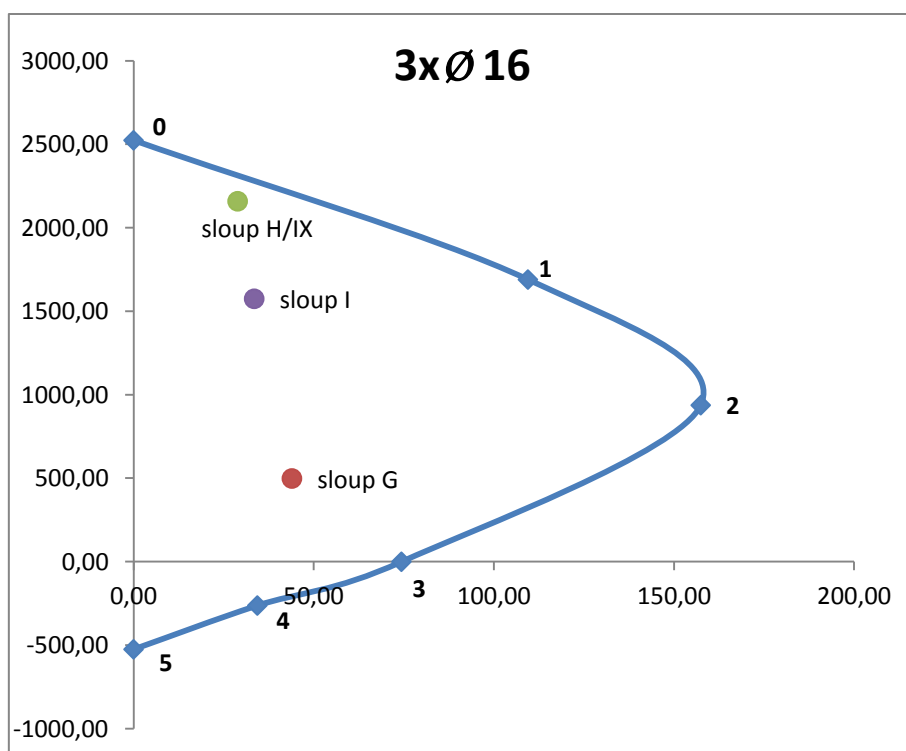
Tabulka 4.2 Základní údaje ke sloupům ve středním rámu s uvedením počtu prutů hlavní podélné výztuže u jednoho okraje



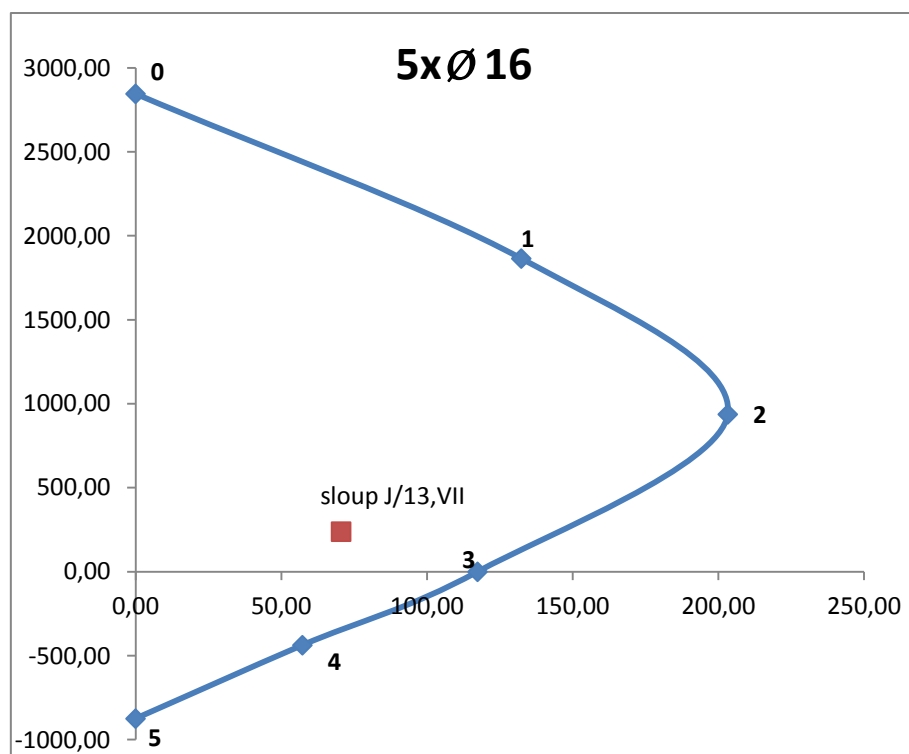
Obrázek 4.18 Interakční diagram sloupů ze středního vyztužených pěti pruty o průměru 22 mm



Obrázek 4.19 Interakční diagram sloupů ze středního rámu vyztužených třemi pruty o průměru 12 mm

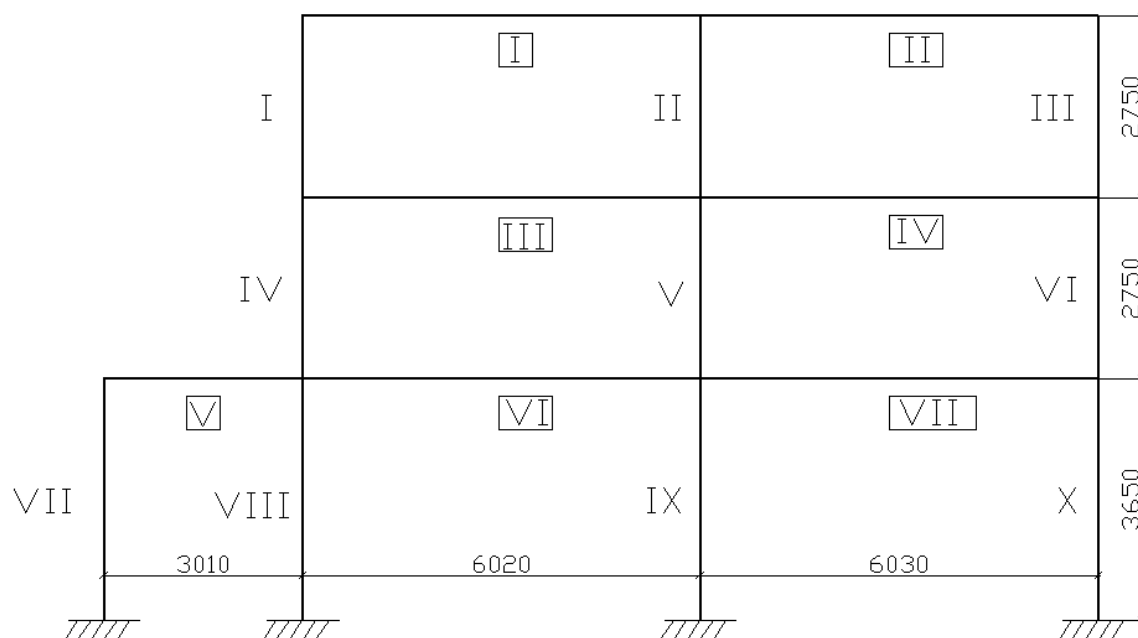


Obrázek 4.20 Interakční diagram sloupů ze středního rámu vyztužených třemi pruty o průměru 16 mm

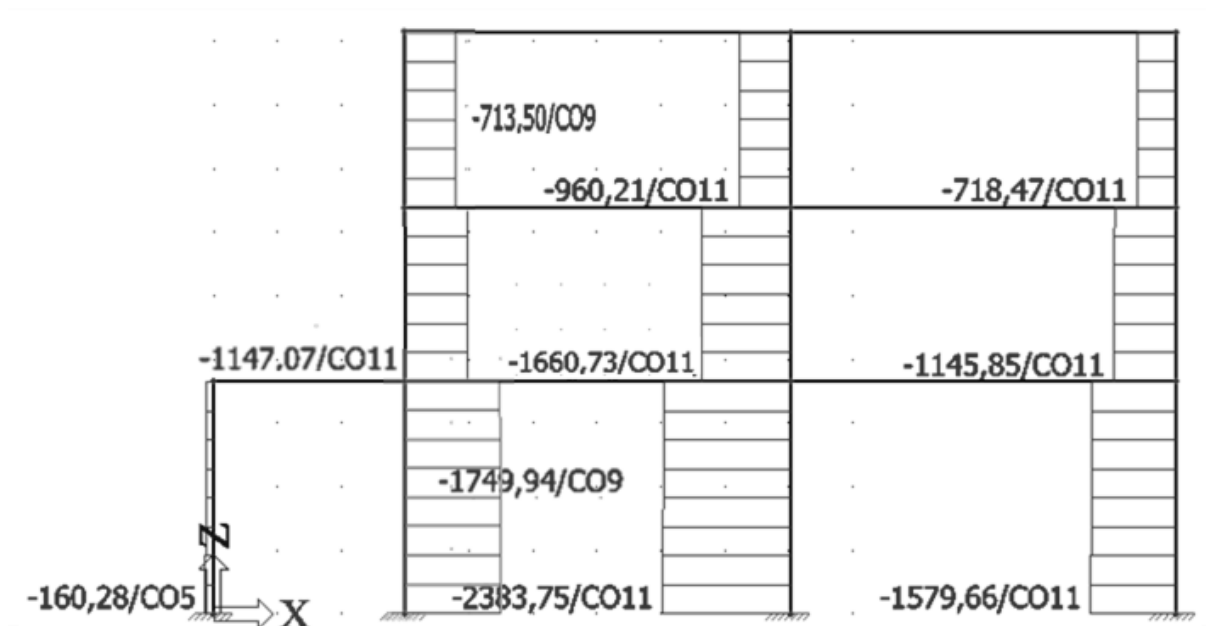


Obrázek 4.21 Interakční diagram sloupce ze středního rámu vyztuženého pěti pruty o průměru 16 mm

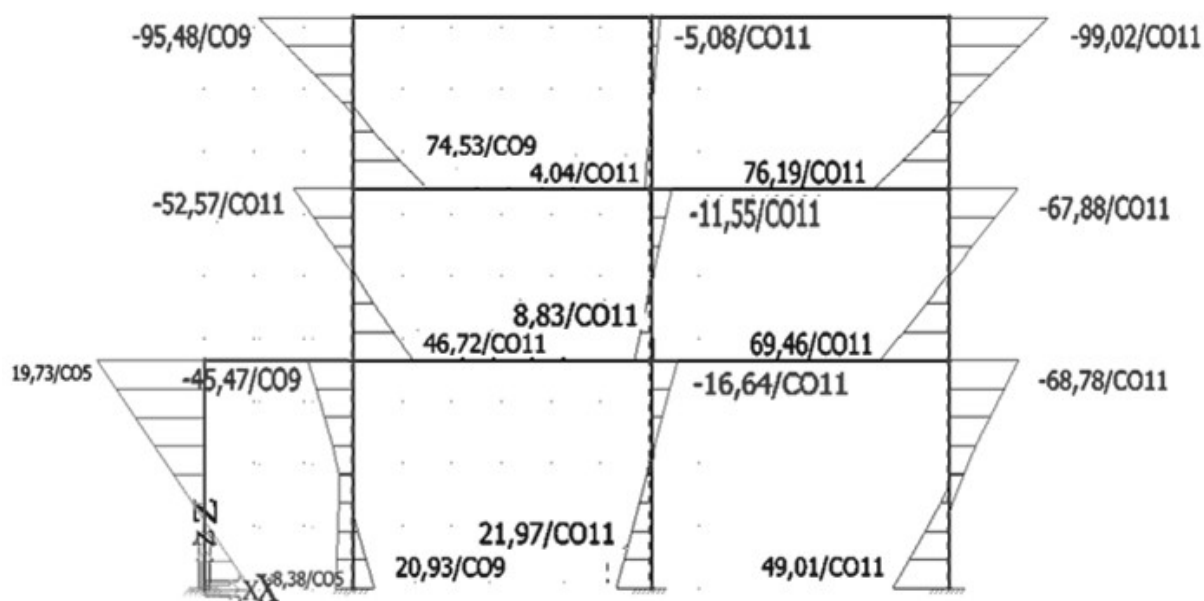
4.2.3 Sloupce rámu ve směru y



Obrázek 4.22 Schéma rámu ve směru y s popisem sloupů a trámů



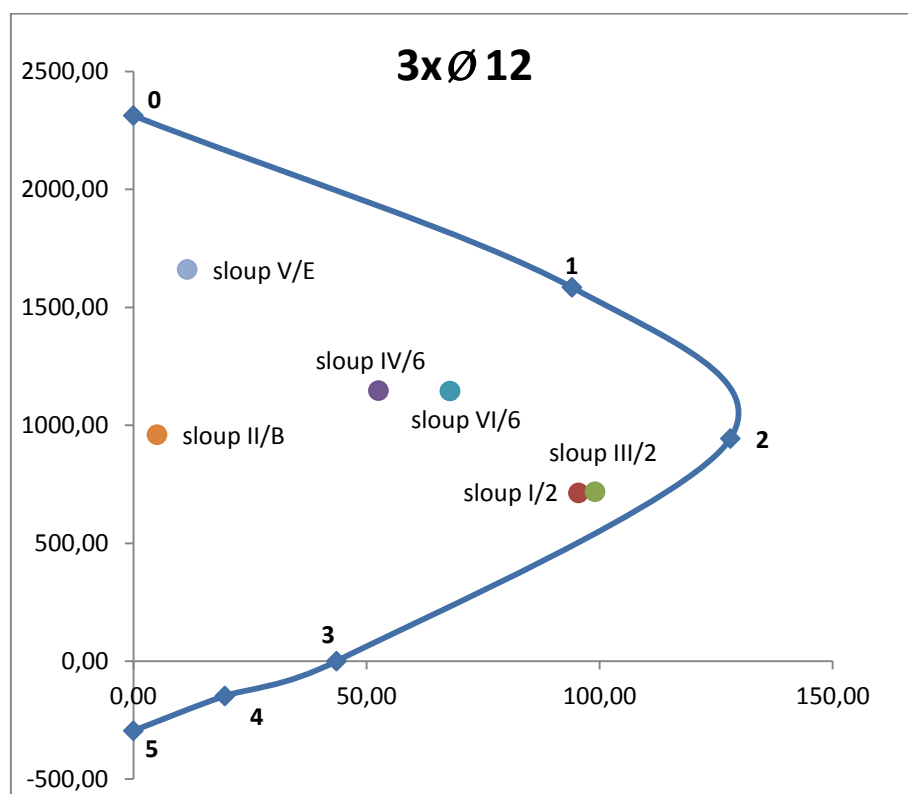
Obrázek 4.23 Návrhové normálové síly v rámu y



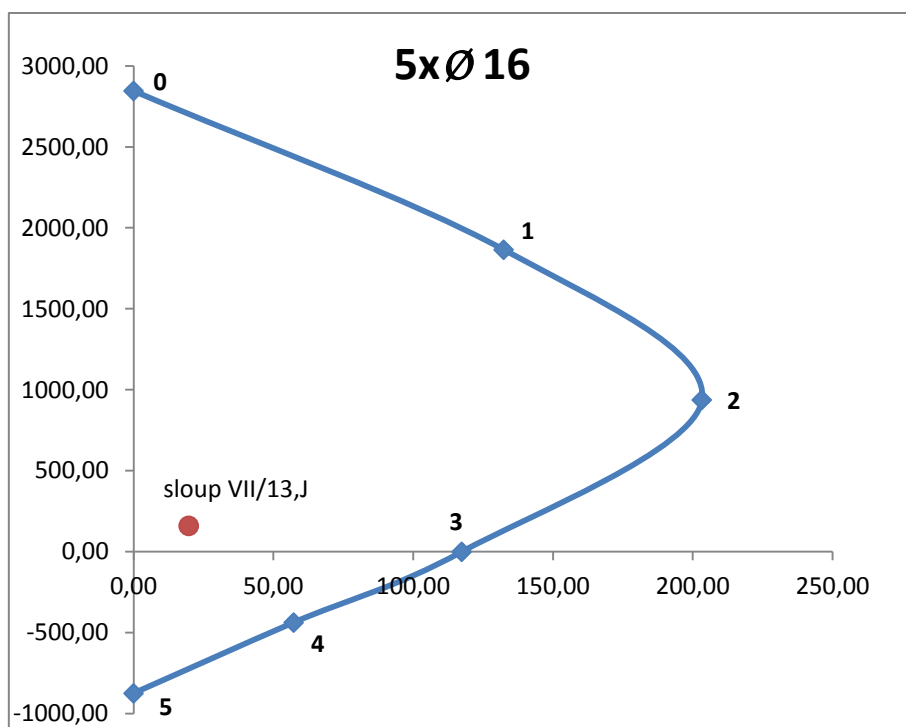
Obrázek 4.24 Příslušné návrhové ohybové momenty

sloup	zatížení v hlavě		rozměr sloupu [mm]	výztuž [mm]			bod 0		bod 1		bod 2		bod 3		bod 4		bod 5	
	N_{Ed} [kN]	M_{Ed} [kNm]		počet	hlavní	třmínky	$N_{Rd,0}$ [kN]	$M_{Rd,0}$ [kNm]	$N_{Rd,1}$ [kN]	$M_{Rd,1}$ [kNm]	$N_{Rd,2}$ [kN]	$M_{Rd,2}$ [kNm]	$N_{Rd,3}$ [kN]	$M_{Rd,3}$ [kNm]	$N_{Rd,4}$ [kN]	$M_{Rd,4}$ [kNm]	$N_{Rd,5}$ [kN]	$M_{Rd,5}$ [kNm]
I	-713,5	-95,48	350	3x	12	6	2313,10	0,00	1584,85	94,07	943,84	128,05	0,00	43,57	-147,52	19,62	-295,04	0,00
II	-960,21	-5,08	350	3x	12	6	2313,10	0,00	1584,85	94,07	943,84	128,05	0,00	43,57	-147,52	19,62	-295,04	0,00
III	-718,47	-99,02	350	3x	12	6	2313,10	0,00	1584,85	94,07	943,84	128,05	0,00	43,57	-147,52	19,62	-295,04	0,00
IV	-1147,07	-52,57	350	3x	12	6	2313,10	0,00	1584,85	94,07	943,84	128,05	0,00	43,57	-147,52	19,62	-295,04	0,00
V	-1660,73	-11,55	350	3x	12	6	2313,10	0,00	1584,85	94,07	943,84	128,05	0,00	43,57	-147,52	19,62	-295,04	0,00
VI	-1145,85	-67,88	350	3x	12	6	2313,10	0,00	1584,85	94,07	943,84	128,05	0,00	43,57	-147,52	19,62	-295,04	0,00
VII	-160,28	19,73	350	5x	16	6	2845,91	0,00	1865,09	132,37	937,71	203,25	0,00	117,37	-437,09	57,26	-874,18	0,00
VIII	-1749,94	-45,47	350	3x	16	6	2524,22	0,00	1690,25	109,47	937,71	157,44	0,00	74,35	-262,25	34,36	-524,51	0,00
IX	-2383,75	-16,64	350	3x	16	6	2524,22	0,00	1690,25	109,47	937,71	157,44	0,00	74,35	-262,25	34,36	-524,51	0,00
X	-1579,66	-68,78	350	3x	16	6	2524,22	0,00	1690,25	109,47	937,71	157,44	0,00	74,35	-262,25	34,36	-524,51	0,00

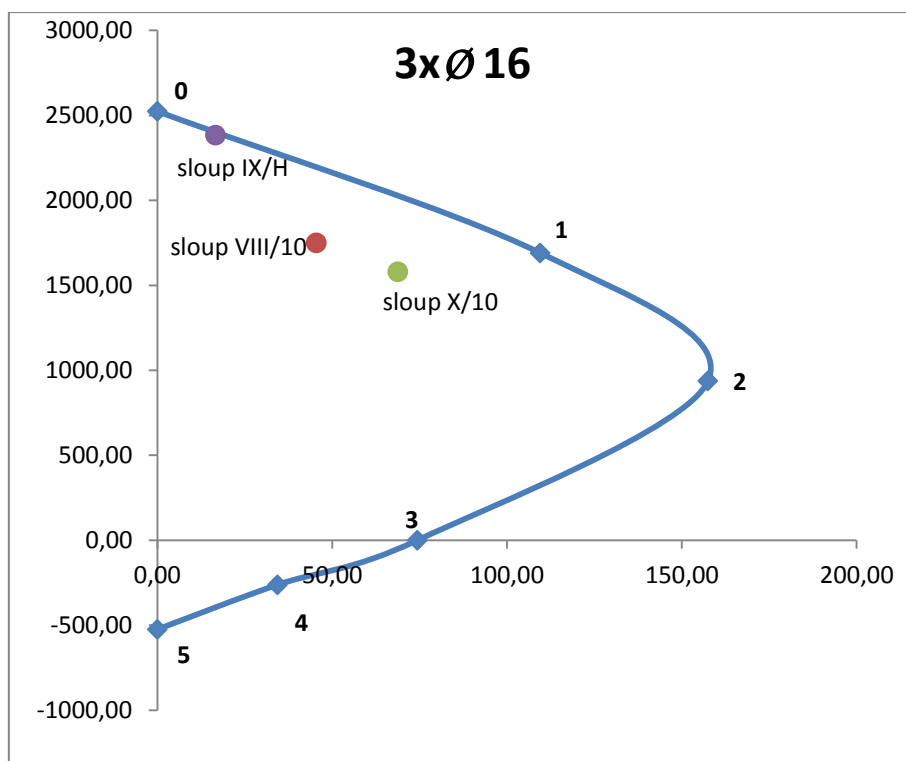
Tabulka 4.3 Základní údaje ke sloupům rámu ve směru y s uvedením počtu prutů hlavní podélné výztuže u jednoho okraje



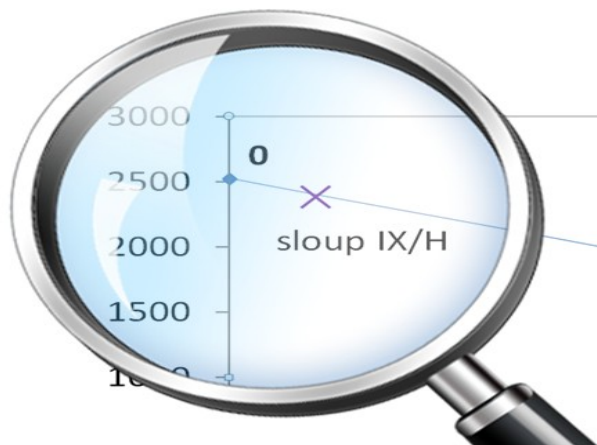
Obrázek 4.25 Interakční diagram sloupů rámu ve směru y vyztužených třemi pruty o průměru 12 mm



Obrázek 4.26 Interakční diagram sloupů rámu ve směru y vyztužených pěti pruty o průměru 16 mm



Obrázek 4.27 Interakční diagram sloupů rámu ve směru y vyztužených třemi pruty o průměru 16 mm



Obrázek 4.28 Přiblížený pohled na umístění bodu sloupu IX v interakčním diagramu na obrázku 6.19

4.3 Konstrukční zásady

Podélná hlavní nosná výztuž

$$\emptyset_{min} = 12 \text{ mm} \leq \emptyset = 12 \text{ mm}$$

Podmínka splněna

minimální světlá vzdálenost prutů

$$s_{min} = \max \left\{ \begin{array}{l} k_1 \cdot \phi = 1 \cdot 22 \\ d_g + \frac{k_2}{20} = 16 + 5 = 21 \end{array} \right\} \text{ mm} = 22 \text{ mm}$$

$$s = \frac{b - 2 \cdot c_{nom} - n \cdot \emptyset}{n - 1} = \frac{350 - 2 \cdot 25 - 5 \cdot 22}{4 - 1} = 47,5 \text{ mm}$$

$$s_{min} = 22 \text{ mm} < s = 47,5 \text{ mm}$$

Podmínka splněna

maximální vzdálenost prutů od sebe

$$s_{max} = \min \left\{ \begin{array}{l} 20 \cdot \phi = 20 \cdot 12 = 240 \\ \frac{b}{400} = 350 \end{array} \right\} \text{ mm} = 240 \text{ mm}$$

$$s = \frac{b - 2 \cdot c_{nom} - n \cdot \emptyset}{n - 1} = \frac{350 - 2 \cdot 25 - 3 \cdot 14}{3 - 1} = 129 \text{ mm}$$

$$s_{max} = 240 \text{ mm} > s = 129 \text{ mm}$$

Podmínka splněna

Omezení množství tahové výztuže

$$A_{s,max} = 0,04 \cdot A_c = 0,04 \cdot 0,35 \cdot 0,35 = 4,9 \cdot 10^{-3} \text{ mm}^2$$

$$A_{s,min} = \frac{0,1 \cdot N_{Ed}}{f_{yd}}$$

$$A_s = \pi \cdot r^2 \cdot n$$

výztuž 5 x Ø 18

$$A_{s,min} = \frac{0,1 \cdot N_{Ed}}{f_{yd}} = \frac{0,1 \cdot 377,35}{434,783 \cdot 10^3} = 8,679 \cdot 10^{-5} \text{ mm}^2$$

$$A_s = \pi \cdot r^2 \cdot n = \pi \cdot \left(\frac{18}{2}\right)^2 \cdot 10 = 2545 \text{ mm}^2$$

$$A_{s,min} = 87 \text{ mm}^2 \leq A_s = 2545 \text{ mm}^2 \leq A_{s,max} = 4\,900 \text{ mm}^2$$

Podmínka splněna

výztuž 3 x Ø 12

$$A_{s,min} = \frac{0,1 \cdot N_{Ed}}{f_{yd}} = \frac{0,1 \cdot 1202,7}{434,783 \cdot 10^3} = 2,766 \cdot 10^{-4} \text{ mm}^2$$

$$A_s = \pi \cdot r^2 \cdot n = \pi \cdot \left(\frac{12}{2}\right)^2 \cdot 6 = 679 \text{ mm}^2$$

$$A_{s,min} = 277 \text{ mm}^2 \leq A_s = 679 \text{ mm}^2 \leq A_{s,max} = 4\,900 \text{ mm}^2$$

Podmínka splněna

výztuž 3 x Ø 16

$$A_{s,min} = \frac{0,1 \cdot N_{Ed}}{f_{yd}} = \frac{0,1 \cdot 1907,2}{434,783 \cdot 10^3} = 4,387 \cdot 10^{-4} \text{ mm}^2$$

$$A_s = \pi \cdot r^2 \cdot n = \pi \cdot \left(\frac{16}{2}\right)^2 \cdot 6 = 1206 \text{ mm}^2$$

$$A_{s,min} = 439 \text{ mm}^2 \leq A_s = 1206 \text{ mm}^2 \leq A_{s,max} = 4\,900 \text{ mm}^2$$

Podmínka splněna

výztuž 5 x Ø 16

$$A_{s,min} = \frac{0,1 \cdot N_{Ed}}{f_{yd}} = \frac{0,1 \cdot 239,12}{434,783 \cdot 10^3} = 5,5 \cdot 10^{-5} \text{ mm}^2$$

$$A_s = \pi \cdot r^2 \cdot n = \pi \cdot \left(\frac{16}{2}\right)^2 \cdot 10 = 2011 \text{ mm}^2$$

$$A_{s,min} = 55 \text{ mm}^2 \leq A_s = 2011 \text{ mm}^2 \leq A_{s,max} = 4\,900 \text{ mm}^2$$

Podmínka splněna

výztuž 5 x Ø 22

$$A_{s,min} = \frac{0,1 \cdot N_{Ed}}{f_{yd}} = \frac{0,1 \cdot 595,89}{434,783 \cdot 10^3} = 1,37 \cdot 10^{-4} \text{ mm}^2$$

$$A_s = \pi \cdot r^2 \cdot n = \pi \cdot \left(\frac{22}{2}\right)^2 \cdot 10 = 3801 \text{ mm}^2$$

$$A_{s,min} = 137 \text{ mm}^2 \leq A_s = 3801 \text{ mm}^2 \leq A_{s,max} = 4\,900 \text{ mm}^2$$

Podmínka splněna

Kotevní délka

Návrhová pevnost betonu v tahu:

$$f_{ctd} = \frac{\alpha_{ct} \cdot f_{ctk0,05}}{\gamma_c} = \frac{1 \cdot 1,8}{1,5} = 1,2 \text{ MPa}$$

Návrhová hodnota mezního napětí v soudržnosti:

$$f_{bd} = 2,25 \cdot \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot f_{ctd} = 2,25 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1,2 = 2,7 \text{ MPa}$$

Kotevní délka:

$$l_{bd} = \alpha_1 \cdot \alpha_2 \cdot \alpha_3 \cdot \alpha_4 \cdot \alpha_5 \cdot l_{bd,rqd}$$

$$\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \alpha_4, \alpha_5 = 1 \Rightarrow l_{bd} = l_{bd,rqd}$$

výztuž $\varnothing 18$

$$l_{bd} = l_{bd,rqd} = \frac{\phi}{4} \cdot \frac{f_{yd}}{f_{bd}} = \frac{18}{4} \cdot \frac{434,783}{2,7} = 725 \text{ mm}$$

výztuž $\varnothing 12$

$$l_{bd} = l_{bd,rqd} = \frac{\phi}{4} \cdot \frac{f_{yd}}{f_{bd}} = \frac{12}{4} \cdot \frac{434,783}{2,7} = 483 \text{ mm} \doteq 490 \text{ mm}$$

výztuž $\varnothing 16$

$$l_{bd} = l_{bd,rqd} = \frac{\phi}{4} \cdot \frac{f_{yd}}{f_{bd}} = \frac{16}{4} \cdot \frac{434,783}{2,7} = 644 \text{ mm} \doteq 650 \text{ mm}$$

výztuž $\varnothing 22$

$$l_{bd} = l_{bd,rqd} = \frac{\phi}{4} \cdot \frac{f_{yd}}{f_{bd}} = \frac{22}{4} \cdot \frac{434,783}{2,7} = 886 \text{ mm} \doteq 890 \text{ mm}$$

Minimální kotevní délka:

výztuž $\varnothing 18$

$$l_{bd,min} = \max \left\{ \begin{array}{l} 0,3 \cdot l_{bd,rqd} = 0,3 \cdot 725 = 217,5 \\ 10 \cdot \phi = 10 \cdot 18 = 180 \\ 100 \end{array} \right\} \text{ mm} = 217,5 \text{ mm}$$

$$l_{bd} = 725 \text{ mm} > l_{bd,min} = 217,5 \text{ mm}$$

Podmínka splněna

výztuž $\varnothing 10$

$$l_{bd,min} = \max \left\{ \begin{array}{l} 0,3 \cdot l_{bd,rqd} = 0,3 \cdot 490 = 147 \\ 10 \cdot \phi = 10 \cdot 10 = 100 \\ 100 \end{array} \right\} \text{ mm} = 147 \text{ mm}$$

$$l_{bd} = 410 \text{ mm} > l_{bd,min} = 147 \text{ mm}$$

Podmínka splněna

výztuž $\varnothing 16$

$$l_{bd,min} = \max \left\{ \begin{array}{l} 0,3 \cdot l_{bd,rqd} = 0,3 \cdot 650 = 195 \\ 10 \cdot \phi = 10 \cdot 16 = 160 \\ 100 \end{array} \right\} mm = 195 mm$$

$$l_{bd} = 650 mm > l_{bd,min} = 195 mm$$

Podmínka splněna

výztuž Ø 22

$$l_{bd,min} = \max \left\{ \begin{array}{l} 0,3 \cdot l_{bd,rqd} = 0,3 \cdot 890 = 267 \\ 10 \cdot \phi = 10 \cdot 16 = 160 \\ 100 \end{array} \right\} mm = 267 mm$$

$$l_{bd} = 650 mm > l_{bd,min} = 267 mm$$

Podmínka splněna

Příčná výztuž – třmínky

Vzdálenost třmínků se zmenší na 0,6 násobek v místech nad a pod deskou v délce rovné většímu rozměru sloupu.

$$\phi_{sw,min} = \max \left\{ \phi = \frac{6 mm}{4} = \frac{22}{4} = 5,5 \right\} = 6 mm \leq \phi_{sw} = 6 mm$$

$$s_{sw,max} = \min \left\{ \begin{array}{l} 15 \cdot \phi = 210 \\ b = 300 \end{array} \right\} = 210 mm$$

$$s_{sw,max} = 210 mm \geq s_{sw,návrh} = 150 mm$$

Ověření štíhlostního kritéria

Aby sloup vyhověl štíhlostnímu kritériu, musí být splněna podmínka:

$$\lambda < \lambda_{lim} \quad (4.1)$$

Vzorový výpočet pro sloup 1:

Údaje potřebné pro výpočet:

$$N_{Ed,max} = -322,4 kN$$

$$A_s = 0,004072 m^2 \text{ (celková podélná výztuž 16x Ø 18)}$$

$$A_c = 0,1225 m^2 \text{ (rozměr sloupu 0,35 x 0,35m)}$$

$$l_0 = 1,925m$$

$$f_{cd} = \frac{f_{ck}}{\gamma_M} = \frac{25}{1,5} = 16,67 MPa$$

$$f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_M} = \frac{500}{1,15} = 434,783 MPa$$

Doporučená hodnota limitní štíhlosti se spočítá vztahem 4.2:

$$\lambda_{lim} = \frac{20 \cdot A \cdot B \cdot C}{\sqrt{n}} \quad (4.2)$$

$$A = \frac{1}{1 + 0,2 \cdot \varphi_{ef}}, \text{případně } A = 0,7 \quad (4.3)$$

Je uvažována hodnota $A=0,7$.

$$B = \sqrt{1 + 2 \cdot \omega}, \text{případně } B = 1,1 \quad (4.4)$$

$$\omega = \frac{A_s \cdot f_{yd}}{A_c \cdot f_{cd}}$$

$$\omega = \frac{0,004072 \cdot 434,783}{0,1225 \cdot 16,67} = 0,867$$

Dosazení do vztahu 4.4.:

$$B = \sqrt{1 + 2 \cdot 0,867} = 1,65$$

$$C = 1,7 - r_m, \text{případně } C = 0,7 \quad (4.5)$$

$$r_m = \frac{M_{01}}{M_{02}}, |M_{02}| > |M_{01}| \quad (4.6)$$

Hodnoty vybraných koncových momentů jsou vyznačené na obrázku 4.25, jenž vytvoří poměr nejnižší.

Dosazení do vztahů 4.5 a 4.6:

$$r_m = \frac{-6,93}{25,64} = -0,27$$

$$C = 1,7 - (-0,27) = 1,97$$

$$n = \frac{N_{Ed}}{A_c \cdot f_{cd}} \quad (4.7)$$

$$n = \frac{322,4}{0,1225 \cdot 16,67 \cdot 10^3} = 0,158$$



Obrázek 4.29 Maximální ohybové momenty na sloupech s vyznačením vybraných momentů pro dosazení do vztahu 4.6.

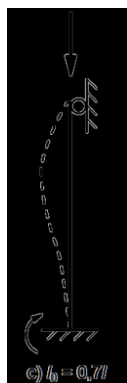
Limitní štíhlost pro sloup 1 je tedy:

$$\lambda_{lim} = \frac{20 \cdot 0,7 \cdot 1,65 \cdot 1,97}{\sqrt{0,158}} = 114,75$$

Štíhlost je dána vztahem:

$$\lambda = \frac{l_0}{i} \quad (4.8)$$

Účinná délka byla zvolena $l_0 = 0,7 \cdot l$ dle vybraného schéma uložení na obrázku níže.



Obrázek 4.30 Uvažované schéma uložení sloupu

$$i = \sqrt{\frac{I}{A_c}}$$

Moment setrvačnosti pro čtvercový průřez se vypočítá vztahem 4.9:

$$I = \frac{1}{12} \cdot b^4 = \frac{1}{12} \cdot 0,35^4 = 0,001251 \, m^4 \quad (4.9)$$

Výpočet štíhlosti:

$$\lambda = \frac{l_0}{\sqrt{\frac{I}{A_c}}} = \frac{1,925}{\sqrt{\frac{0,001251}{0,1225}}} = 19,05 \quad (4.10)$$

Porovnání štíhlostí:

$$\lambda = 19,05 < \lambda_{lim} = 114,75$$

Podmínka splněna

Ověření štíhlostí u všech sloupů řešených rámců jsou uvedeny v tabulkách dále.

Sloupy v krajním rámu

sloup	N_{Ed} [kN]	A_s [m ²]	A_c [m ²]	n [-]	A	ω	B	C	λ_{lim} [-]	I [m]	I_0 [m]	I [m ⁴]	i [kN]	λ [-]	$\lambda < \lambda_{lim}$ [-]
1	-322,4	0,004072	0,1225	0,158	0,7	0,87	1,65	1,97	114,75	2,75	1,93	0,001251	0,10	19,05	splněno
2	-756,8	0,000905	0,1225	0,371	0,7	0,19	1,18	1,97	53,32	2,75	1,93	0,001251	0,10	19,05	splněno
3	-809,3	0,000905	0,1225	0,396	0,7	0,19	1,18	1,97	51,56	2,75	1,93	0,001251	0,10	19,05	splněno
4	-377,4	0,004072	0,1225	0,185	0,7	0,87	1,65	1,97	106,08	2,75	1,93	0,001251	0,10	19,05	splněno
5	-505,8	0,000905	0,1225	0,248	0,7	0,19	1,18	1,97	65,22	2,75	1,93	0,001251	0,10	19,05	splněno
6	-1203	0,000905	0,1225	0,589	0,7	0,19	1,18	1,97	42,29	2,75	1,93	0,001251	0,10	19,05	splněno
7	-1268	0,000905	0,1225	0,621	0,7	0,19	1,18	1,97	41,19	2,75	1,93	0,001251	0,10	19,05	splněno
8	-652,6	0,000905	0,1225	0,32	0,7	0,19	1,18	1,97	57,42	2,75	1,93	0,001251	0,10	19,05	splněno
9	795,82	0,001608	0,1225	0,39	0,7	0,34	1,30	1,97	57,34	3,65	2,56	0,001251	0,10	25,29	splněno
10	-1849	0,003041	0,1225	0,906	0,7	0,65	1,51	1,97	43,91	3,65	2,56	0,001251	0,10	25,29	splněno
11	-1907	0,003619	0,1225	0,934	0,7	0,77	1,59	1,97	45,49	3,65	2,56	0,001251	0,10	25,29	splněno
12	-1356	0,003619	0,1225	0,664	0,7	0,77	1,59	1,97	53,95	3,65	2,56	0,001251	0,10	25,29	splněno
13	-187,6	0,006082	0,1225	0,092	0,7	1,3	1,89	1,97	172,39	3,65	2,56	0,001251	0,10	25,29	splněno

Tabulka 4.4 Ověření štíhlostí u sloupů v krajním rámu

Sloupy ve středním rámu

sloup	N_{Ed} [kN]	A_s [m ²]	A_c [m ²]	n [-]	A	ω	B	C	λ_{lim} [-]	I [m]	I_0 [m]	I [m ⁴]	i [kN]	λ [-]	$\lambda < \lambda_{lim}$ [-]
A	-411,63	0,006082	0,1225	0,2	0,7	1,2952	1,89	1,97	116,39	2,75	1,93	0,001251	0,10	19,05	splněno
B	-917,4	0,000905	0,1225	0,4	0,7	0,1927	1,18	1,97	48,43	2,75	1,93	0,001251	0,10	19,05	splněno
C	-595,89	0,006082	0,1225	0,3	0,7	1,2952	1,89	1,97	96,73	2,75	1,93	0,001251	0,10	19,05	splněno
D	-695,37	0,000905	0,1225	0,3	0,7	0,1927	1,18	1,97	55,62	2,75	1,93	0,001251	0,10	19,05	splněno
E	-1524,27	0,000905	0,1225	0,7	0,7	0,1927	1,18	1,97	37,57	2,75	1,93	0,001251	0,10	19,05	splněno
F	-989,2	0,000905	0,1225	0,5	0,7	0,1927	1,18	1,97	46,64	2,75	1,93	0,001251	0,10	19,05	splněno
G	-498,75	0,001608	0,1225	0,2	0,7	0,3425	1,30	1,97	72,44	3,65	2,56	0,001251	0,10	25,29	splněno
H	-2159,25	0,001608	0,1225	1,1	0,7	0,3425	1,30	1,97	34,81	3,65	2,56	0,001251	0,10	25,29	splněno
I	-1575,01	0,001608	0,1225	0,8	0,7	0,3425	1,30	1,97	40,76	3,65	2,56	0,001251	0,10	25,29	splněno
J	-239,12	0,003217	0,1225	0,1	0,7	0,6851	1,54	1,97	124,07	3,65	2,56	0,001251	0,10	25,29	splněno

Tabulka 4.5 Ověření štíhlostí u sloupů ve středním rámu

Sloupy v rámu y

sloup	N_{Ed} [kN]	A_s [m ²]	A_c [m ²]	n [-]	A	ω	B	C	λ_{lim} [-]	I [m]	I_0 [m]	I [m ⁴]	i [kN]	λ [-]	$\lambda < \lambda_{lim}$ [-]
I	-713,5	0,000905	0,1225	0,349	0,7	0,19	1,18	1,97	54,91	2,75	1,93	0,001251	0,10	19,05	splněno
II	-960,21	0,000905	0,1225	0,47	0,7	0,19	1,18	1,97	47,34	2,75	1,93	0,001251	0,10	19,05	splněno
III	-718,47	0,000905	0,1225	0,352	0,7	0,19	1,18	1,97	54,72	2,75	1,93	0,001251	0,10	19,05	splněno
IV	-1147,07	0,000905	0,1225	0,562	0,7	0,19	1,18	1,97	43,31	2,75	1,93	0,001251	0,10	19,05	splněno
V	-1660,73	0,000905	0,1225	0,813	0,7	0,19	1,18	1,97	35,99	2,75	1,93	0,001251	0,10	19,05	splněno
VI	-1145,85	0,000905	0,1225	0,561	0,7	0,19	1,18	1,97	43,33	2,75	1,93	0,001251	0,10	19,05	splněno
VII	-160,28	0,003217	0,1225	0,079	0,7	0,69	1,54	1,97	151,54	3,65	2,56	0,001251	0,10	25,29	splněno
VIII	-1749,94	0,001608	0,1225	0,857	0,7	0,34	1,30	1,97	38,67	3,65	2,56	0,001251	0,10	25,29	splněno
IX	-2383,75	0,002513	0,1225	1,168	0,7	0,54	1,44	1,97	36,73	3,65	2,56	0,001251	0,10	25,29	splněno
X	-1579,66	0,001608	0,1225	0,774	0,7	0,34	1,30	1,97	40,70	3,65	2,56	0,001251	0,10	25,29	splněno

Tabulka 4.6 Ověření štíhlostí u sloupů v rámu y

4.4 Mezní stav použitelnosti

Mezní stav použitelnosti pro sloupy není v rámci této bakalářské práce počítán. Pokud by se řešil, mělo by se především propočítat omezení napětí pro sloupy ve venkovním prostředí.

5 TRÁMY

5.1 Ohyb

Při návrhu trámů nebylo uvažováno se spolupůsobící šířkou desky ani s redukcí momentů nad podporou.

Vzorový výpočet pro trám 1:

Vnitřní síly na trámu:

$$M_{Ed} = -343,97 \text{ kNm}$$

$$M_{Ed} = 215,55 \text{ kNm}$$

Materiál

Třída betonu: C25/30

$$f_{ck} = 25 \text{ MPa}$$

$$f_{cd} = \frac{f_{ck}}{\gamma_M} = \frac{25}{1,5} = 16,67 \text{ MPa}$$

Třída oceli: B 500 B

$$f_{yk} = 500 \text{ MPa}$$

$$f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_M} = \frac{500}{1,15} = 434,783 \text{ MPa}$$

Krytí výztuže

Stupeň vlivu prostředí: suché \Rightarrow XC1

konstrukční třída: S4 \Rightarrow objekty o návrhové životnosti 50 let

Předběžný průměr třmínků: 8 mm

Předběžný průměr hlavní výztuže: 24 mm

krytí třmínků

$$c_{min,sw} = \max(8; 15; 10 \text{ mm}) = 15 \text{ mm}$$

krytí hlavní výztuže

$$c_{min,1} = \max(24; 15; 10 \text{ mm}) = 24 \text{ mm}$$

$$c_{min,2} = c_{min,sw} + \emptyset_{sw} = 15 + 8 = 23 \text{ mm}$$

Dosazení do vztahu 2.2:

$$c_{nom} = c_{min} + \Delta c_{dev} = 24 + 6 = 30 \text{ mm}$$

HORNÍ VÝZTUŽ**Návrh**

Účinná výška průřezu:

$$d = h - c_{desky} - \emptyset_{desky,Y} - \emptyset_{desky,X} - \frac{\emptyset_{trámu}}{2}$$

$$d = 500 - 25 - 8 - 8 - \frac{24}{2} = 447 \text{ mm} = 0,447 \text{ m}$$

Dosazení do vztahu 2.19:

$$A_{s,req} = \frac{M_{Ed}}{0,9 \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{343,97 \cdot 10^{-3}}{0,9 \cdot 0,447 \cdot 434,783 \cdot 10^6} = 1,97 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$$

Počet prutů:

$$n = \frac{A_{s,req} \cdot 4}{\pi \cdot \emptyset^2} \quad (5.1)$$

$$n = \frac{1,97 \cdot 10^{-3} \cdot 4}{\pi \cdot 0,024^2} = 4,35 \Rightarrow \text{navrhuji 6 ks}$$

Skutečná plocha:

$$A_s = n \cdot \frac{\pi \cdot \emptyset^2}{4} \quad (5.2)$$

$$A_s = n \cdot \frac{\pi \cdot \emptyset^2}{4} = 6 \cdot \frac{\pi \cdot 24^2}{4} = 2,714 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$$

Návrh: 6 Ø 24 (A_s = 2714 mm²)

Posudek

Dosazení do vztahů 3.22 až 3.24:

$$F_s = A_s \cdot f_{yd} = 2,714 \cdot 10^{-3} \cdot 434,783 \cdot 10^3 = 1180 \text{ kN}$$

$$x = \frac{F_s}{0,8 \cdot b \cdot \eta \cdot f_{cd}} = \frac{1180 \cdot 10^3}{0,8 \cdot 0,35 \cdot 1,0 \cdot 16,66 \cdot 10^6} = 0,253 \text{ m}$$

$$M_{Rd} = F_s \cdot (d - 0,4 \cdot x) = 1180 \cdot 10^3 \cdot (0,447 - 0,4 \cdot 0,253) = 408\,147 \text{ Nm}$$

Posouzení:

$$M_{Rd} = 408\,147 \text{ kNm} > M_{Ed} = 343,97 \text{ kNm}$$

Konstrukce vyhovuje pro dané zatížení.

DOLNÍ VÝZTUŽ**Návrh**

Účinná výška průřezu:

$$d = h - c_{trámu} - \frac{\emptyset_{trámu}}{2} = 500 - 30 - \frac{20}{2} = 460 \text{ mm} = 0,46 \text{ m}$$

Dosazení do vztahu 2.19:

$$A_{s,req} = \frac{M_{Ed}}{0,9 \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{215,55 \cdot 10^3}{0,9 \cdot 0,465 \cdot 434,783 \cdot 10^6} = 1,185 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$$

Dosazení do vztahů 5.1 a 5.2:

$$n = \frac{A_{s,req} \cdot 4}{\pi \cdot \emptyset^2} = \frac{1,185 \cdot 10^{-3} \cdot 4}{\pi \cdot 0,020^2} = 3,772 \Rightarrow \text{navrhuji 5 ks}$$

$$A_s = n \cdot \frac{\pi \cdot \emptyset^2}{4} = 5 \cdot \frac{\pi \cdot 0,020^2}{4} = 1,57 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$$

Návrh: 5 Ø 20 ($A_s = 1570 \text{ mm}^2$)

Posudek

Dosazení do vztahů 2.22 až 2.24:

$$F_s = A_s \cdot f_{yd} = 1,57 \cdot 10^{-3} \cdot 434,783 \cdot 10^3 = 682,92 \text{ kN}$$

$$x = \frac{F_s}{0,8 \cdot b \cdot \eta \cdot f_{cd}} = \frac{682,92 \cdot 10^3}{0,8 \cdot 0,35 \cdot 1,0 \cdot 16,66 \cdot 10^6} = 0,146 \text{ m}$$

$$M_{Rd} = F_s \cdot (d - 0,4 \cdot x) = 682,92 \cdot 10^3 \cdot (0,46 - 0,4 \cdot 0,146) = 274\,180 \text{ Nm}$$

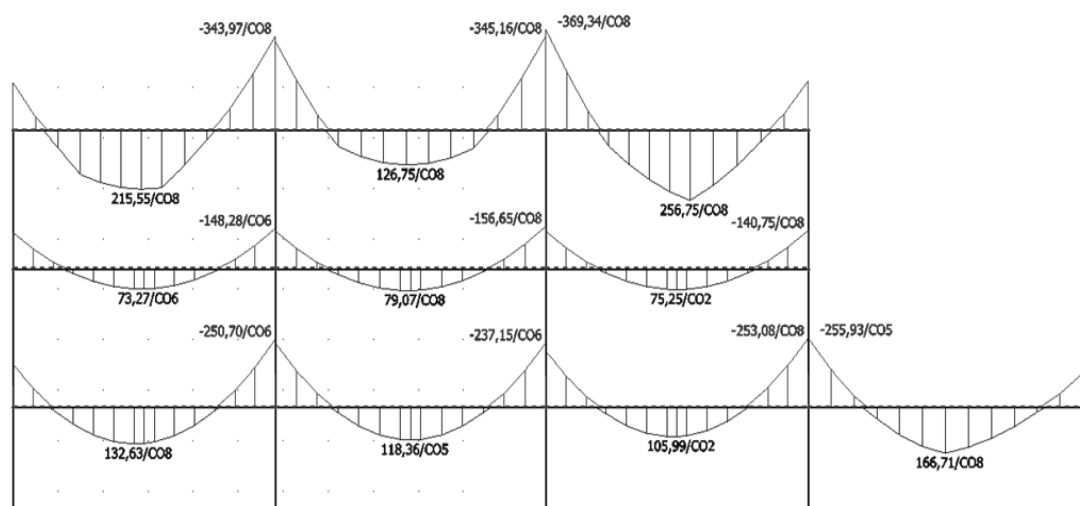
Posouzení:

$$M_{Rd} = 277,548 \text{ kNm} > M_{Ed} = 215,55 \text{ kNm}$$

Konstrukce vyhovuje pro dané zatížení.

Návrhy a posouzení výztuží pro všechny trámy jsou uvedeny v následujících tabulkách.

Trámy v krajním rámu

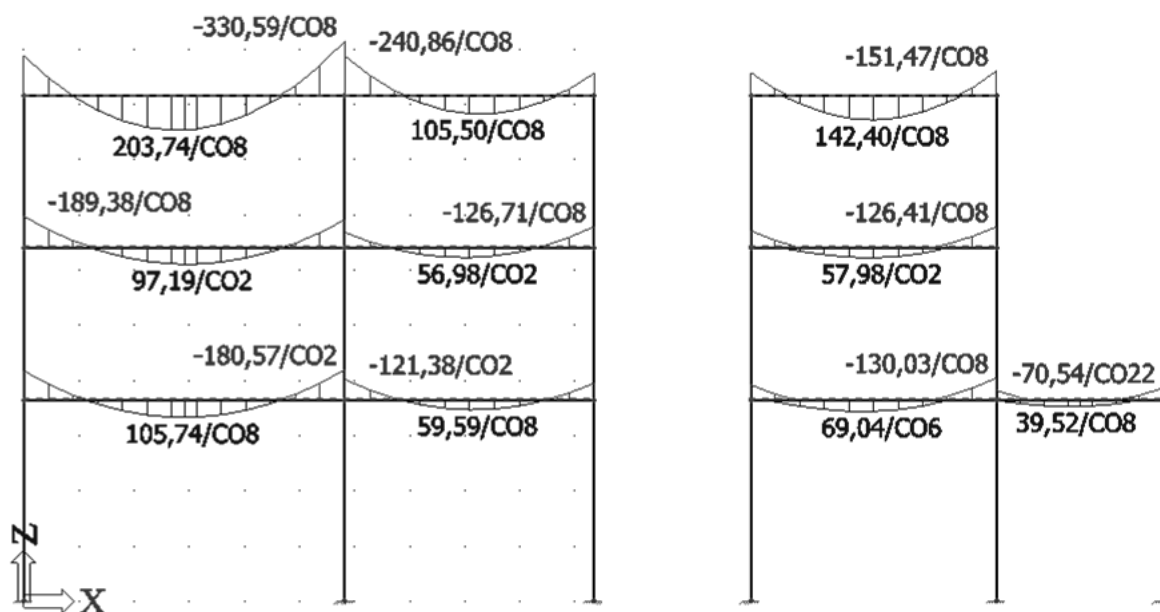


5.1 Maximální ohybové momenty na trámech krajního rámu

trám	M_{Ed} [kNm]	\varnothing třmínků [mm]	\varnothing výztuže [mm]	d [m]	$A_{s,req}$ [m ²]	n [ks]	A_s [m ²]	F_s [kN]	x [m]	M_{Rd} [kNm]	M_{Ed}/M_{Rd} [%]
1	-343,97	8	24	0,447	0,00197	6	0,00271	1180,15	0,253	408,147	84
	215,55	8	20	0,46	0,0012	5	0,00157	682,95	0,146	274,18	79
2	-345,16	8	24	0,447	0,00197	6	0,00271	1180,15	0,253	408,147	85
	126,75	8	20	0,46	0,0007	5	0,00157	682,95	0,146	274,18	46
3	-369,34	8	24	0,447	0,00211	6	0,00271	1180,15	0,253	408,147	90
	256,75	8	20	0,46	0,00143	5	0,00157	682,95	0,146	274,18	94
4	-148,28	8	20	0,449	0,00084	3	0,00094	409,77	0,088	169,595	87
	73,27	8	16	0,462	0,00041	3	0,0006	262,25	0,056	115,266	64
5	-156,65	8	20	0,449	0,00089	3	0,00094	409,77	0,088	169,595	92
	79,07	8	16	0,462	0,00044	3	0,0006	262,25	0,056	115,266	69
6	-140,75	8	20	0,449	0,0008	3	0,00094	409,77	0,088	169,595	83
	75,25	8	16	0,462	0,00042	3	0,0006	262,25	0,056	115,266	65
7	-250,7	8	20	0,449	0,00143	5	0,00157	682,95	0,146	266,667	94
	132,63	8	20	0,46	0,00074	3	0,00094	409,77	0,088	174,103	76
8	-237,15	8	20	0,449	0,00135	5	0,00157	682,95	0,146	266,667	89
	118,36	8	20	0,46	0,00066	3	0,00094	409,77	0,088	174,103	68
9	-253,08	8	20	0,449	0,00144	5	0,00157	682,95	0,146	266,667	95
	105,99	8	20	0,46	0,00059	3	0,00094	409,77	0,088	174,103	61
10	-255,93	8	20	0,449	0,00146	5	0,00157	682,95	0,146	266,667	96
	166,71	8	20	0,46	0,00093	3	0,00094	409,77	0,088	174,103	96

Tabulka 5.1 Návrhy a posudky jednotlivých trámů v krajním rámu s uvedením procentuálního využití prvku

Trámy ve středním rámu

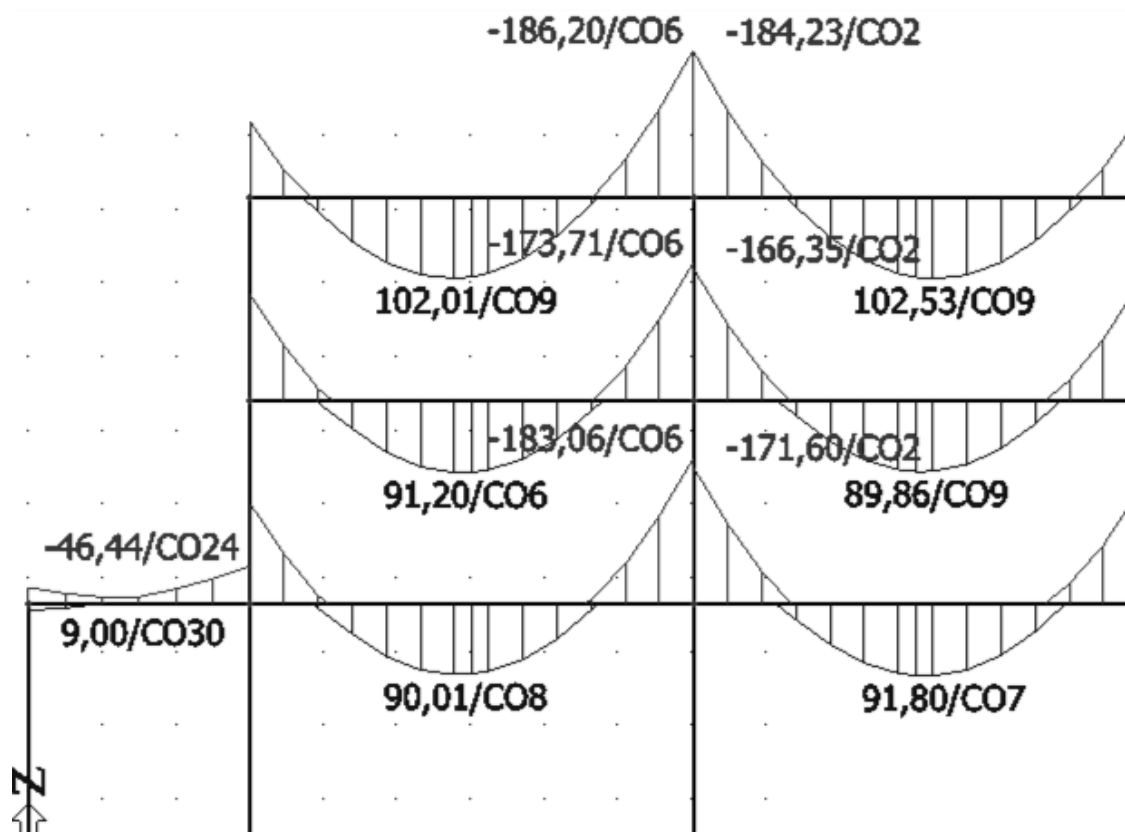


Obrázek 5.2 Maximální ohybové momenty na trámech středního rámu

trám	M_{Ed} [kNm]	\varnothing třmínků [mm]	\varnothing výztuže [mm]	d [m]	$A_{s,req}$ [m ²]	n [ks]	A_s [m ²]	F_s [kN]	x [m]	M_{Rd} [kNm]	M_{Ed}/M_{Rd} [%]
A	-330,59	8	24	0,447	0,00189	5	0,002262	983,46	0,211	356,7029	93
	203,74	8	20	0,46	0,001132	4	0,001257	546,36	0,117	225,7405	90
B	-240,86	8	24	0,447	0,001377	5	0,002262	983,46	0,211	356,7029	68
	105,5	8	20	0,46	0,000586	4	0,001257	546,36	0,117	225,7405	47
C	-151,47	8	24	0,447	0,000866	5	0,002262	983,46	0,211	356,7029	42
	142,4	8	20	0,46	0,000791	4	0,001257	546,36	0,117	225,7405	63
D	-189,38	8	20	0,449	0,001078	4	0,001257	546,36	0,117	219,7305	86
	97,19	8	16	0,462	0,000538	3	0,000603	262,25	0,056	115,2665	84
E	-126,71	8	20	0,449	0,000721	4	0,001257	546,36	0,117	219,7305	58
	56,98	8	16	0,462	0,000315	3	0,000603	262,25	0,056	115,2665	49
F	-126,41	8	20	0,449	0,000719	4	0,001257	546,36	0,117	219,7305	58
	57,98	8	16	0,462	0,000321	3	0,000603	262,25	0,056	115,2665	50
G	-180,57	8	20	0,449	0,001028	4	0,001257	546,36	0,117	219,7305	82
	105,74	8	20	0,46	0,000587	2	0,000628	273,18	0,059	119,267	89
H	-121,38	8	20	0,449	0,000691	4	0,001257	546,36	0,117	219,7305	55
	59,59	8	20	0,46	0,000331	2	0,000628	273,18	0,059	119,267	50
I	-130,03	8	20	0,449	0,00074	4	0,001257	546,36	0,117	219,7305	59
	69,04	8	20	0,46	0,000384	2	0,000628	273,18	0,059	119,267	58
J	-70,54	8	20	0,449	0,000401	4	0,001257	546,36	0,117	219,7305	32
	39,52	8	20	0,46	0,00022	2	0,000628	273,18	0,059	119,267	33

Tabulka 5.2 Návrhy a posudky jednotlivých trámů ve středním rámu s uvedením procentuálního využití prvku

Trámy v rámu ve směru y



Obrázek 5.3 Maximální ohybové momenty na trámech v rámu y

trám	M_{Ed} [kNm]	\varnothing třmínků [mm]	\varnothing výztuže [mm]	d [m]	$A_{s,req}$ [m ²]	n [ks]	A_s [m ²]	F_s [kN]	x [m]	M_{Rd} [kNm]	M_{Ed}/M_{Rd} [-]
I	-186,2	8	24	0,415	0,001147	3	0,001357	590,07	0,126	215,0358	87
	102,01	8	20	0,44	0,000592	2	0,000628	273,18	0,059	113,8033	90
II	-184,23	8	24	0,415	0,001134	3	0,001357	590,07	0,126	215,0358	86
	102,53	8	20	0,44	0,000596	2	0,000628	273,18	0,059	113,8033	90
III	-173,71	8	20	0,421	0,001054	4	0,001257	546,36	0,117	204,4323	85
	91,2	8	16	0,446	0,000523	3	0,000603	262,25	0,056	111,0704	82
IV	-166,35	8	20	0,421	0,00101	4	0,001257	546,36	0,117	204,4323	81
	89,86	8	16	0,446	0,000515	3	0,000603	262,25	0,056	111,0704	81
V	-46,44	8	20	0,421	0,000282	1	0,000314	136,59	0,029	55,90562	83
	9	8	20	0,44	5,23E-05	2	0,000628	273,18	0,059	113,8033	8
VI	-183,06	8	20	0,421	0,001111	4	0,001257	546,36	0,117	204,4323	90
	90,01	8	20	0,44	0,000523	2	0,000628	273,18	0,059	113,8033	79
VII	-171,6	8	20	0,421	0,001042	4	0,001257	546,36	0,117	204,4323	84
	91,8	8	20	0,44	0,000533	2	0,000628	273,18	0,059	113,8033	81

Tabulka 5.3 Návrhy a posudky jednotlivých trámů v rámu ve směru y s uvedením procentuálního využití prvku

5.2 Konstrukční zásady

Minimální světlá vzdálenost prutů

Posuzováno dle největší výztuže: 6 Ø 24

$$s_{min} = \max \left\{ \begin{array}{l} k_1 \cdot \phi = 1 \cdot 24 = 24 \\ d_g + \frac{k_2}{20} = 16 + 5 = 21 \end{array} \right\} mm = 24 mm$$

skutečná světlá vzdálenost:

$$s_{skut} = \frac{b_w - 2 \cdot c_{nom} - n \cdot \phi}{n - 1} = \frac{350 - 2 \cdot 25 - 6 \cdot 24}{6 - 1} = 31,2 mm$$

$$s_{skut} = 31,2 mm \geq s_{min} = 24 mm$$

SPLNĚNO

Omezení množství tahové výztuže

Dolní výztuž:

nejmenší výztuž: 3 Ø 16

největší výztuž: 5 Ø 20

$$A_{s,min} = \max \left\{ \begin{array}{l} 0,26 \cdot \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} \cdot b_t \cdot d = 0,26 \cdot \frac{2,6}{500} \cdot 0,35 \cdot 0,44 = 2,478 \cdot 10^{-4} \\ 0,0013 \cdot b_t \cdot d = 0,0013 \cdot 0,35 \cdot 0,44 = 2,002 \cdot 10^{-4} \end{array} \right\} m^2$$

$$A_{s,min} = 2,478 \cdot 10^{-4} m^2 = 248 mm^2$$

$$A_{s,max} = 0,04 \cdot A_c = 0,04 \cdot 0,35 \cdot 0,5 = 7 \cdot 10^{-3} m^2 = 7\,000 mm^2$$

$$A_{s,min} = 248 mm^2 \leq A_s = 600 mm^2 \leq A_{s,max} = 7\,000 mm^2$$

$$A_{s,min} = 248 mm^2 \leq A_s = 1570 mm^2 \leq A_{s,max} = 7\,000 mm^2$$

Podmínka splněna

Horní výztuž:

nejmenší výztuž: 3 Ø 16

největší výztuž: 6 Ø 24

$$A_{s,min} = \max \left\{ \begin{array}{l} 0,26 \cdot \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} \cdot b_t \cdot d = 0,26 \cdot \frac{2,6}{500} \cdot 0,35 \cdot 0,421 = 1,992 \cdot 10^{-4} \\ 0,0013 \cdot b_t \cdot d = 0,0013 \cdot 0,35 \cdot 0,421 = 1,9156 \cdot 10^{-4} \end{array} \right\} m^2$$

$$A_{s,min} = 1,992 \cdot 10^{-4} m^2 = 199 mm^2$$

$$A_{s,max} = 0,04 \cdot A_c = 0,04 \cdot 0,35 \cdot 0,5 = 7 \cdot 10^{-3} m^2 = 7\,000 mm^2$$

$$A_{s,min} = 199 mm^2 \leq A_s = 600 mm^2 \leq A_{s,max} = 8\,000 mm^2$$

$$A_{s,min} = 199 mm^2 \leq A_s = 2710 mm^2 \leq A_{s,max} = 8\,000 mm^2$$

Podmínka splněna

Omezení výšky tlačené oblasti

Dolní výztuž:

nejméně příznivě vychází výztuž 5 Ø 20

$$\xi = \frac{x}{d} = \frac{0,146}{0,46} = 0,317 < \xi_{bal} = \frac{700}{700 + f_{yd}} = \frac{700}{700 + 434,783} = 0,617$$

Podmínka splněna

Horní výztuž:

nejméně příznivě vychází výztuž 6 Ø 24

$$\xi = \frac{x}{d} = \frac{0,253}{0,447} = 0,566 < \xi_{bal} = \frac{700}{700 + f_{yd}} = \frac{700}{700 + 434,783} = 0,617$$

Podmínka splněna

Kotevní délka

Návrhová pevnost betonu v tahu:

$$f_{ctd} = \frac{\alpha_{ct} \cdot f_{ctk0,05}}{\gamma_c} = \frac{1 \cdot 1,8}{1,5} = 1,2 \text{ MPa}$$

Návrhová hodnota mezního napětí v soudržnosti:

$$f_{bd} = 2,25 \cdot \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot f_{ctd} = 2,25 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1,2 = 2,7 \text{ MPa}$$

Kotevní délka:

$$l_{bd} = \alpha_1 \cdot \alpha_2 \cdot \alpha_3 \cdot \alpha_4 \cdot \alpha_5 \cdot l_{bd,rqd}$$

$$\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \alpha_4, \alpha_5 = 1 \Rightarrow l_{bd} = l_{bd,rqd}$$

výztuž Ø 24

$$l_{bd} = l_{bd,rqd} = \frac{\phi}{4} \cdot \frac{f_{yd}}{f_{bd}} = \frac{24}{4} \cdot \frac{434,783}{2,7} = 966,18 \text{ mm} \doteq 970 \text{ mm}$$

výztuž Ø 20

$$l_{bd} = l_{bd,rqd} = \frac{\phi}{4} \cdot \frac{f_{yd}}{f_{bd}} = \frac{20}{4} \cdot \frac{434,783}{2,7} = 805 \text{ mm} \doteq 810 \text{ mm}$$

výztuž Ø 16

$$l_{bd} = l_{bd,rqd} = \frac{\phi}{4} \cdot \frac{f_{yd}}{f_{bd}} = \frac{16}{4} \cdot \frac{434,783}{2,7} = 644 \text{ mm} \doteq 650 \text{ mm}$$

Minimální kotevní délka:

výztuž Ø 24

$$l_{bd,min} = \max \left\{ \begin{array}{l} 0,3 \cdot l_{bd,rqd} = 0,3 \cdot 970 = 291 \\ 10 \cdot \phi = 10 \cdot 24 = 240 \\ 100 \end{array} \right\} \text{ mm} = 291 \text{ mm}$$

$$l_{bd} = 970 \text{ mm} > l_{bd,min} = 291 \text{ mm}$$

Podmínka splněna

výztuž $\varnothing 20$

$$l_{bd,min} = \max \left\{ \begin{array}{l} 0,3 \cdot l_{bd,rqd} = 0,3 \cdot 810 = 243 \\ 10 \cdot \phi = 10 \cdot 20 = 200 \\ 100 \end{array} \right\} \text{ mm} = 243 \text{ mm}$$

$$l_{bd} = 810 \text{ mm} > l_{bd,min} = 243 \text{ mm}$$

Podmínka splněna

výztuž $\varnothing 16$

$$l_{bd,min} = \max \left\{ \begin{array}{l} 0,3 \cdot l_{bd,rqd} = 0,3 \cdot 650 = 195 \\ 10 \cdot \phi = 10 \cdot 16 = 160 \\ 100 \end{array} \right\} \text{ mm} = 195 \text{ mm}$$

$$l_{bd} = 650 \text{ mm} > l_{bd,min} = 195 \text{ mm}$$

Podmínka splněna

5.3 Smyk

5.3.1 Návrhová únosnost ve smyku bez smykové výztuže

Aby trám nemusel být vyztužen na smyk, musí platit podmínka:

$$V_{Ed} \leq V_{Rd,c} \quad (5.3)$$

Návrhová únosnost ve smyku bez smykové výztuže se spočítá vztahem:

$$V_{Rd,c} = \left[C_{Rd,c} \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_l \cdot f_{ck})^{\frac{1}{3}} + k_1 \cdot \sigma_{cp} \right] \cdot b_w \cdot d \quad (5.4)$$

$$C_{Rd,c} = \frac{0,18}{\gamma_c} = \frac{0,18}{1,5} = 0,12 \text{ MPa} \quad (5.5)$$

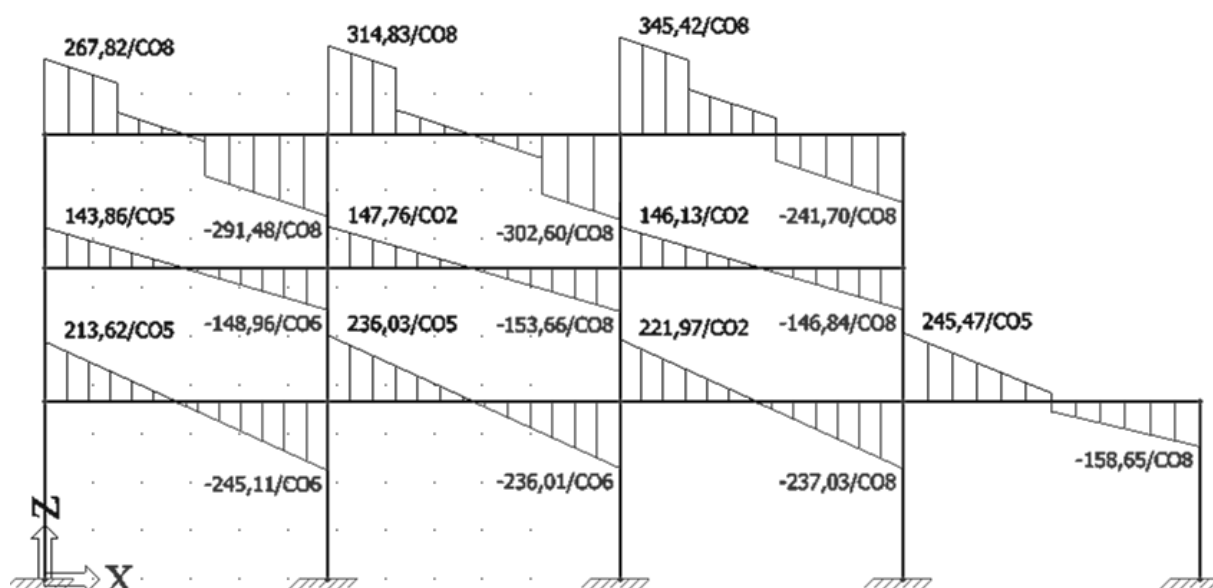
$$k = 1 + \sqrt{\frac{200}{d}} \quad (5.6)$$

$$\rho_l = \frac{A_{sl}}{b_w \cdot d} \quad (5.7)$$

Příznivý vliv normálové síly je zanedbáván $\Rightarrow k_1 \cdot \sigma_{cp} = 0$

V tabulkách níže jsou vypočítány návrhové únosnosti bez smykové výztuže pro všechny trámy dle uvedených vztahů. Smyková únosnost prvků je nedostačující a proto je dále navržena smyková výztuž.

Trámy krajního rámu

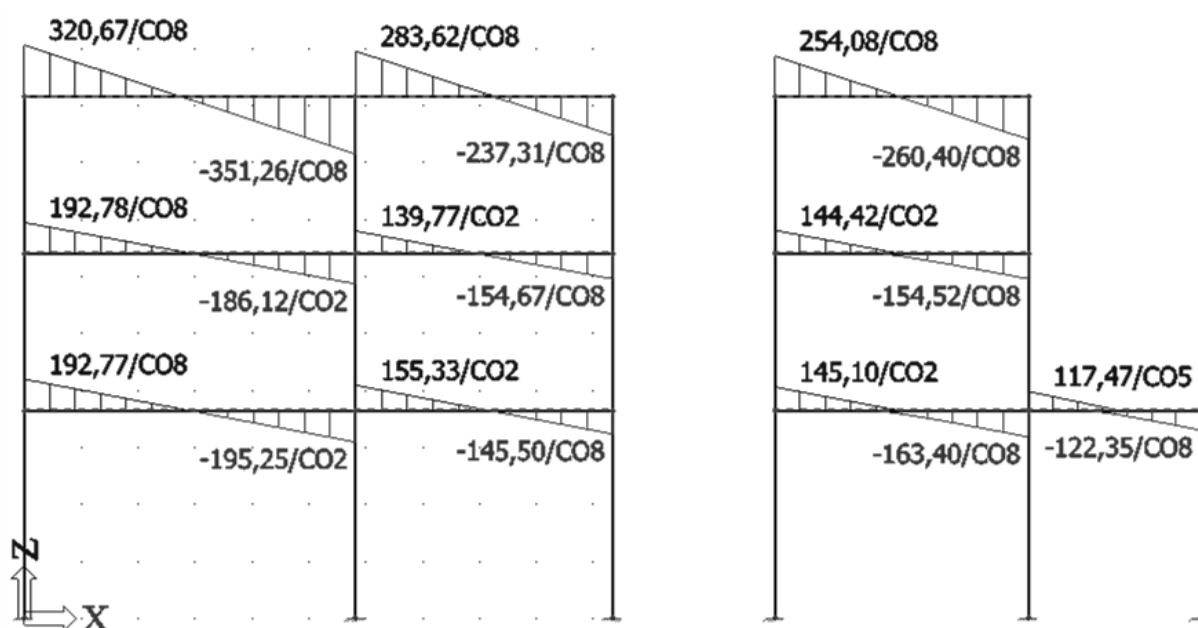


Obrázek 5.4 Posouvající síly na trámech krajního rámu

trám	V_{Ed}	d	k	A_{sl}	ρ_l	$V_{Rd,c}$	$V_{Ed} < V_{Rd}$
	[kN]	[m]	[-]	[m ²]	[-]	[kN]	
1	-291,48	0,447	1,669	0,00271	0,017	110,085	nesplněno
2	314,83	0,447	1,669	0,00271	0,017	110,085	nesplněno
3	345,42	0,447	1,669	0,00271	0,017	110,085	nesplněno
4	-148,96	0,449	1,667	0,00094	0,006	77,536	nesplněno
5	-153,66	0,449	1,667	0,00094	0,006	77,536	nesplněno
6	-146,84	0,449	1,667	0,00094	0,006	77,536	nesplněno
7	-245,11	0,449	1,667	0,00157	0,010	91,9291	nesplněno
8	236,03	0,449	1,667	0,00157	0,010	91,9291	nesplněno
9	-237,03	0,449	1,667	0,00157	0,010	91,9291	nesplněno
10	245,49	0,449	1,667	0,00157	0,010	91,9291	nesplněno

Tabulka 5.4 Posouzení jednotlivých trámů v krajním rámu na smyk bez smykové výztuže

Trámy středního rámu

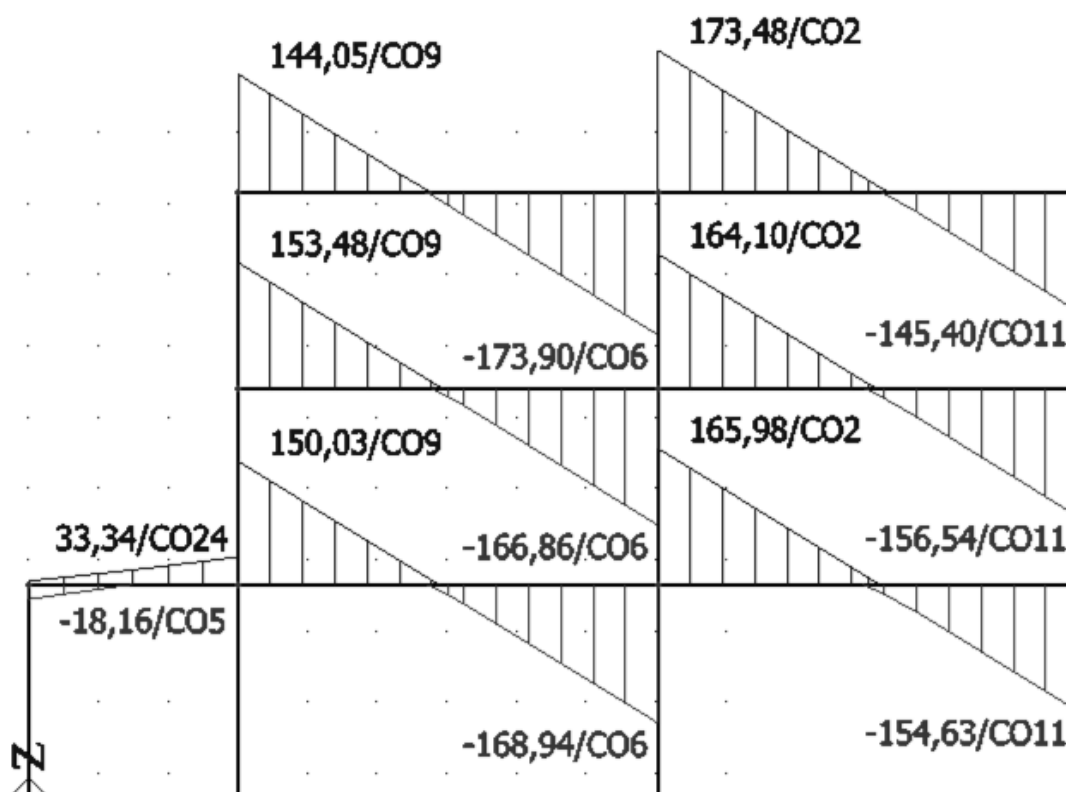


Obrázek 5.5 Maximální posouvající síly v trámech středního rámu

trám	V_{Ed}	d	k	A_{sl}	ρ	$V_{Rd,c}$	$V_{Ed} < V_{Rd}$
	[kN]	[m]	[-]	[m ²]	[-]	[kN]	
A	-351,26	0,447	1,669	0,00189	0,012	97,5733	nesplněno
B	283,62	0,447	1,669	0,00138	0,009	87,799	nesplněno
C	-260,4	0,447	1,669	0,00087	0,006	75,2218	nesplněno
D	192,78	0,449	1,667	0,00108	0,007	81,0844	nesplněno
E	-154,67	0,449	1,667	0,00072	0,005	70,919	nesplněno
F	-154,52	0,449	1,667	0,00072	0,005	70,863	nesplněno
G	-195,25	0,449	1,667	0,00103	0,007	79,807	nesplněno
H	-155,33	0,449	1,667	0,00069	0,004	69,9104	nesplněno
I	-163,4	0,449	1,667	0,00074	0,005	71,5331	nesplněno
J	-122,35	0,449	1,667	0,0004	0,003	58,3406	nesplněno

Tabulka 5.5 Posouzení jednotlivých trámů ve středním rámu na smyk bez smykové výztuže

Trámy rámu ve směru y



Obrázek 5.6 Maximální posouvající síly na trámech v rámu y

trám	V_{Ed} [kN]	d [m]	k [-]	A_{sl} [m ²]	ρ_l [-]	$V_{Rd,c}$ [kN]	$V_{Ed} < V_{Rd}$
I	-173,9	0,415	1,694	0,00115	0,008	79,8016	nesplněno
II	173,48	0,415	1,694	0,00113	0,008	79,5192	nesplněno
III	-166,86	0,421	1,689	0,00105	0,007	78,1202	nesplněno
IV	164,1	0,421	1,689	0,00101	0,007	77,001	nesplněno
V	33,34	0,426	1,685	0,00028	0,002	50,4024	splněno
VI	-168,94	0,421	1,689	0,00111	0,008	79,4974	nesplněno
VII	165,98	0,421	1,689	0,00104	0,007	77,8026	nesplněno

Tabulka 5.6 Posouzení jednotlivých trámů v rámu y na smyk bez smykové výztuže

5.3.2 Návrhová únosnost prvku se smykovou výztuží

Aby navržená smyková výztuž přenesla posouvající sílu, musí platit podmínka:

$$V_{Ed} \leq V_{Rd,s} \quad (5.8)$$

Posouvající síla musí být tedy menší, než smyková únosnost výztuže na mezi kluzu, která se vypočítá následovně:

$$V_{Rd,s} = A_{sw} \cdot \frac{1,0}{s_l} \cdot z \cdot f_{ywd} \cdot \cot \theta \quad (5.9)$$

$$A_{sw} = n \cdot \pi \cdot \frac{\emptyset^2}{4} \quad (5.10)$$

$$z = 0,9 \cdot d \quad (5.11)$$

$$\theta = 45^\circ \rightarrow \cot \theta = 1$$

Do výše uvedených vztahů byly dosazeny příslušné hodnoty navržených výztuží do jednotlivých trámů a výsledky jsou uvedeny v tabulkách:

Průvlaky v krajním rámu

trám	V_{Ed} [kN]	n [ks]	\emptyset třmínků [mm]	s_l [m]	A_{sw} [m ²]	d [m]	z [m]	$V_{Rd,s}$ [kN]	$V_{Ed} < V_{Rd}$
1	-291,48	4	8	0,1	0,000201	0,447	0,4023	351,68	splněno
2	314,83	4	8	0,1	0,000201	0,447	0,4023	351,68	splněno
3	345,42	4	8	0,1	0,000201	0,447	0,4023	351,68	splněno
4	-148,96	2	8	0,1	0,000101	0,449	0,4041	176,63	splněno
5	-153,66	2	8	0,1	0,000101	0,449	0,4041	176,63	splněno
6	-146,84	2	8	0,1	0,000101	0,449	0,4041	176,63	splněno
7	-245,11	2	8	0,07	0,000101	0,449	0,4041	252,33	splněno
8	236,03	2	8	0,07	0,000101	0,449	0,4041	252,33	splněno
9	-237,03	2	8	0,07	0,000101	0,449	0,4041	252,33	splněno
10	245,49	2	8	0,07	0,000101	0,449	0,4041	252,33	splněno

Tabulka 5.7 Posouzení jednotlivých trámů v krajním rámu na smyk se smykovou výztuží

Průvlaky ve středním rámu

trám	V_{Ed} [kN]	n [ks]	Ø třmínků [mm]	s_l [m]	A_{sw} [m ²]	d [m]	z [m]	$V_{Rd,s}$ [kN]	$V_{Ed} < V_{Rd}$
A	-351,26	4	8	0,1	0,000201	0,447	0,4023	351,68	splněno
B	283,62	4	8	0,1	0,000201	0,447	0,4023	351,68	splněno
C	-260,4	4	8	0,1	0,000201	0,447	0,4023	351,68	splněno
D	192,78	2	8	0,07	0,000101	0,449	0,4041	252,33	splněno
E	-154,67	2	8	0,1	0,000101	0,449	0,4041	176,63	splněno
F	-154,52	2	8	0,1	0,000101	0,449	0,4041	176,63	splněno
G	-195,25	2	8	0,07	0,000101	0,449	0,4041	252,33	splněno
H	-155,33	2	8	0,1	0,000101	0,449	0,4041	176,63	splněno
I	-163,4	2	8	0,1	0,000101	0,449	0,4041	176,63	splněno
J	-122,35	2	8	0,1	0,000101	0,449	0,4041	176,63	splněno

Tabulka 5.8 Posouzení jednotlivých trámů ve středním rámu na smyk se smykovou výztuží

Průvlaky v rámu y

trám	V_{Ed} [kN]	n [ks]	Ø třmínků [mm]	s_l [m]	A_{sw} [m ²]	d [m]	z [m]	$V_{Rd,s}$ [kN]	$V_{Ed} < V_{Rd}$
I	-173,9	4	8	0,1	0,000201	0,415	0,3735	326,51	splněno
II	173,48	4	8	0,1	0,000201	0,415	0,3735	326,51	splněno
III	-166,86	2	8	0,07	0,000101	0,421	0,3789	236,59	splněno
IV	164,1	2	8	0,1	0,000101	0,421	0,3789	165,61	splněno
V	33,34	2	8	0,1	0,000101	0,426	0,3834	167,58	splněno
VI	-168,94	2	8	0,07	0,000101	0,421	0,3789	236,59	splněno
VII	165,98	2	8	0,07	0,000101	0,421	0,3789	236,59	splněno

Tabulka 5.9 Posouzení jednotlivých trámů v rámu y na smyk se smykovou výztuží

5.4 Mezní ohybová štíhlost

$$\frac{l}{d} \leq \lambda_{lim} \quad (5.12)$$

Vzorový výpočet pro trám 1:

Údaje potřebné k tomuto posudku:

$$l = 5,825 \text{ m}$$

$$f_{ck} = 25 \text{ MPa}$$

$$f_{yk} = 500 \text{ MPa}$$

Dolní výztuž:

$$d = 0,46 \text{ m}$$

$$A_{s,prov} = 1570 \text{ mm}^2$$

$$A_{s,req} = 1200 \text{ mm}^2$$

Výpočet geometrického stupně vyztužení:

$$\rho = \frac{A_{s,prov}}{b \cdot d} = \frac{1570 \cdot 10^{-6}}{0,35 \cdot 0,46} = 9,752 \cdot 10^{-3} \quad (5.13)$$

Vyjádřeno v procentech:

$$\rho = 1 \%$$

Interpolací hodnot v tabulce 7.N [2] byla získána hodnota mezní ohybové štíhlosti:

$$\lambda_{lim} = 17$$

Posouzení:

$$\frac{l}{d} = \frac{5,825}{0,46} \leq \lambda_{lim}$$

$$12,66 \leq 17$$

Podmínka splněna

Dalším posudkem pro mezní stav použitelnosti by měl být výpočet pro omezení trhlin, aby nedošlo k narušení funkce, trvanlivosti či vzhledu konstrukce.

6 SCHODIŠTĚ

6.1 Zatížení

PODESTA A MEZIPODESTA

Stálé zatížení

popis	g_k [kN/m ²]	γ_g [–]	g_d [kN/m ²]
Keramická dlažba, tl. 15 mm, $\rho = 2200 \text{ kg/m}^3$	0,330	1,35	0,446
Betonový potěr vyztužený sítí, tl. 50 mm, $\rho = 2500 \text{ kg/m}^3$	1,25	1,35	1,688
Kročejová izolace EPS 150, tl. 30 mm, $\rho = 23 \text{ kg/m}^3$	0,007	1,35	0,009
Vlastní tíha ŽB desky, tl. 200 mm, $\rho = 2500 \text{ kg/m}^3$	5	1,35	6,750
Omítka, tl. 15 mm, $\rho = 2000 \text{ kg/m}^3$	0,3	1,35	0,405
Σ	6,887		9,297

Tabulka 6.1 Hodnoty stálého zatížení od vlastní tíhy podest a mezipodest

Užitné zatížení

popis	q_k [kN/m ²]	γ_q [–]	q_d [kN/m ²]
Schodiště - kategorie A	3,0	1,5	4,5

Tabulka 6.2 Hodnoty užitného zatížení na schodišti

$$p_{d,podesta} = g_d + q_d = 9,297 + 4,5 = 13,797 \frac{kN}{m^2}$$

RAMENO

popis	g_k [kN/m ²]	γ_g [–]	g_d [kN/m ²]
Keramická dlažba, tl. 15 mm, $\rho = 2200 \text{ kg/m}^3$	0,33	1,35	0,446
Vlastní tíha ŽB desky, tl. 200 mm, $\rho = 2500 \text{ kg/m}^3$	5	1,35	6,750
Omítka, tl. 15 mm, $\rho = 2000 \text{ kg/m}^3$	0,3	1,35	0,405
Σ	5,63		7,601

Tabulka 6.3 Stálé zatížení na rameni schodiště bez schodišťových stupňů

Započítání schodišťových stupňů:**SCHODIŠTĚ Z 1.NP**

$$h = 173 \text{ mm}$$

$$b = 300 \text{ mm}$$

$$n = 11$$

$$L' = 3,81 \text{ m}$$

$$\rho = 2500 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \Rightarrow \gamma = 25 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3}$$

$$g_d = \frac{\frac{h \cdot b \cdot n}{2} \cdot \gamma}{L'} \cdot \gamma_g = \frac{\frac{0,173 \cdot 0,3 \cdot 11}{2} \cdot 25}{3,81} \cdot 1,35 = 2,529 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

SCHODIŠTĚ Z 2.NP

$$h = 167 \text{ mm}$$

$$b = 300 \text{ mm}$$

$$n = 9$$

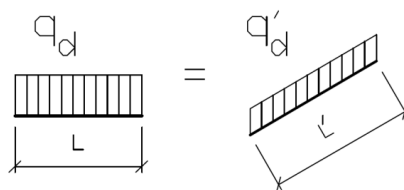
$$L' = 3,09 \text{ m}$$

$$\rho = 2500 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \Rightarrow \gamma = 25 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3}$$

$$g_d = \frac{\frac{h \cdot b \cdot n}{2} \cdot \gamma}{L'} \cdot \gamma_g = \frac{\frac{0,167 \cdot 0,3 \cdot 9}{2} \cdot 25}{3,09} \cdot 1,35 = 2,46 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

Užitné zatížení

Užitné zatížení je nutné přepočítat na šikmou délku:



Obrázek 6.1 Znázornění rovnosti náhradního břemena od zatížení na půdorysný rozměr a na průmět

Jak je zobrazeno na obrázku 6.1 platí:

$$q_d \cdot L = q'_d \cdot L' \quad (6.1)$$

Přepočet pro schodiště z 1.NP:

$$q'_d = \frac{q_d \cdot L}{L'} = \frac{4,5 \cdot 3,3}{3,81} = 3,898 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

Přepočet pro schodiště z 2.NP:

$$q'_d = \frac{q_d \cdot L}{L'} = \frac{4,5 \cdot 2,7}{3,09} = 3,932 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

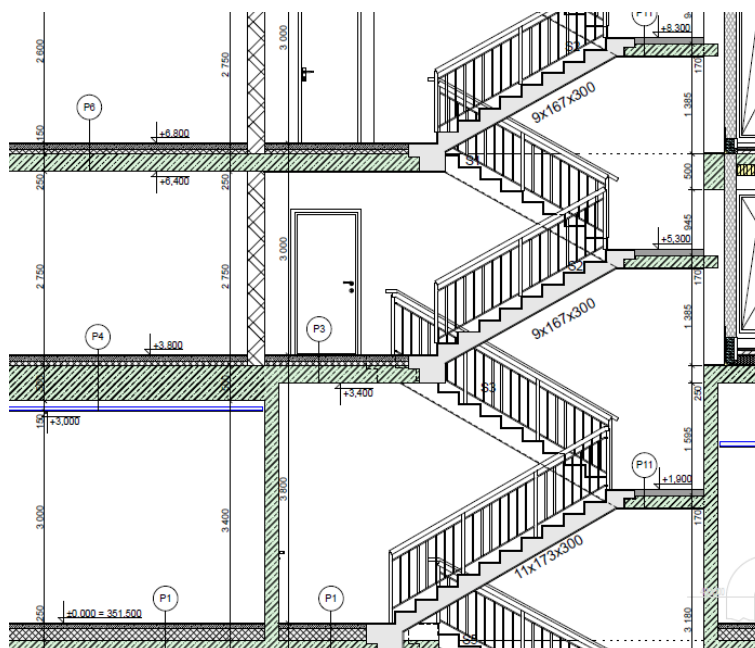
Do vztahu jsou dosazeny délky ze schémat 6.5 a 6.13 uvedených dále.

Celkové zatížení:

$$p_{d,rameno\ 1.NP} = g_d + q_d = 7,601 + 2,529 + 3,898 = 14,03 \frac{kN}{m^2}$$

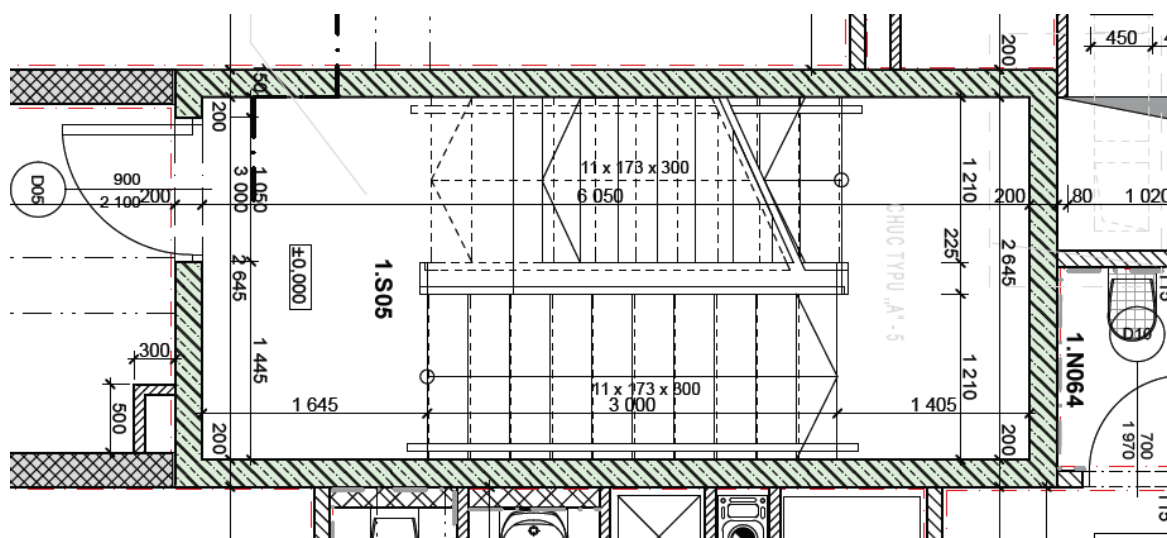
$$p_{d,rameno\ 2.NP} = g_d + q_d = 7,601 + 2,46 + 3,932 = 13,993 \frac{kN}{m^2}$$

6.2 Vnitřní síly

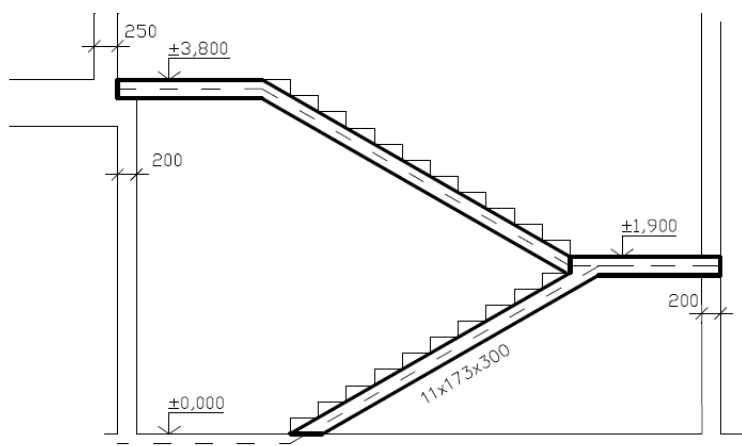


6.2 Řez schodištěm - z podkladu výřez řezu

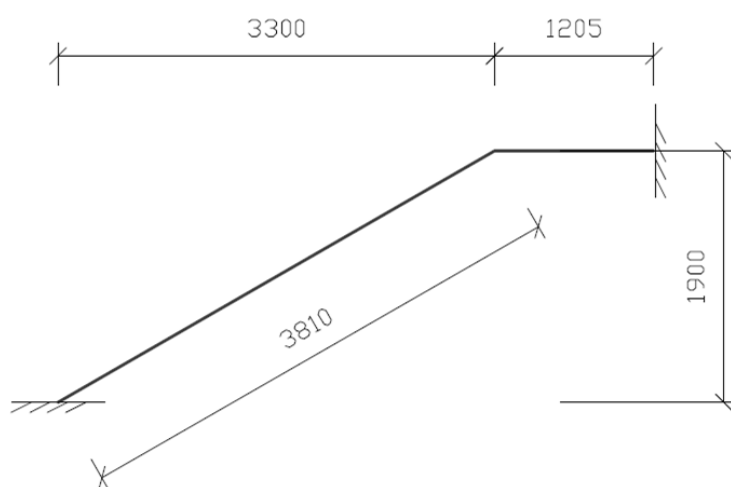
Schodiště z 1. NP



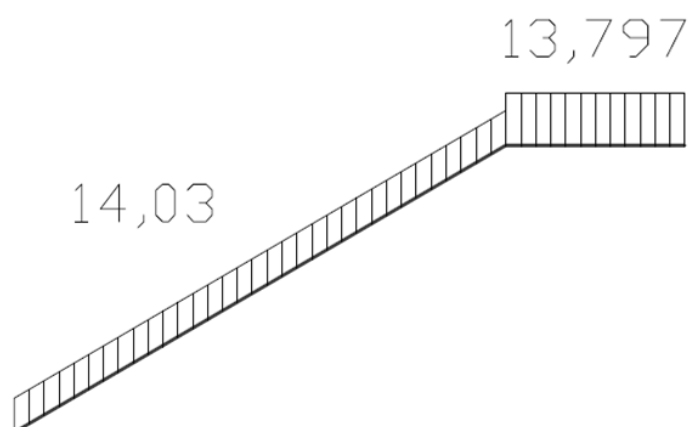
Obrázek 6.3 Půdorys schodiště z 1.NP - z podkladu výřez půdorysu 1.NP



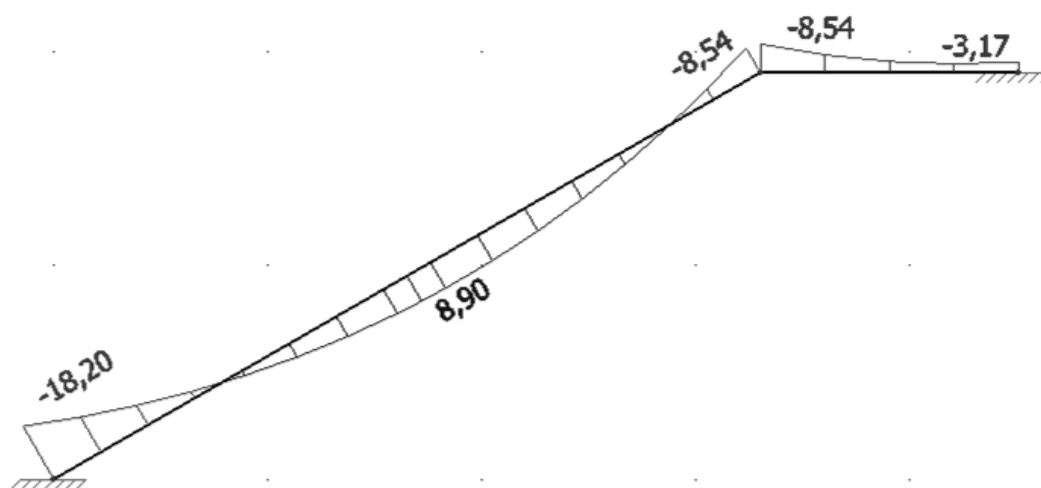
Obrázek 6.4 Schematický řez schodišťovou deskou z 1.NP



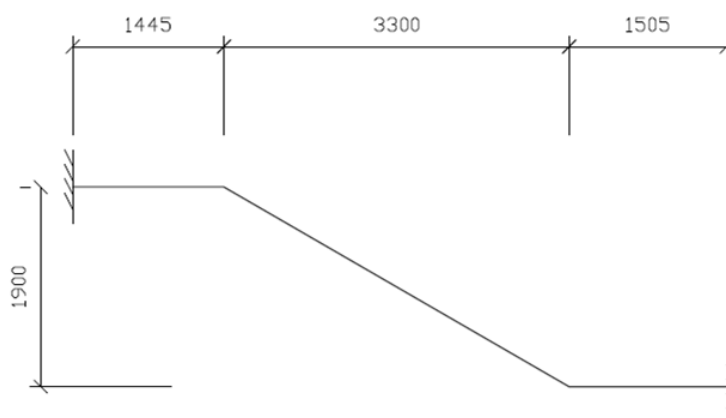
Obrázek 6.5 Statické schéma schodišťové desky nástupního ramene



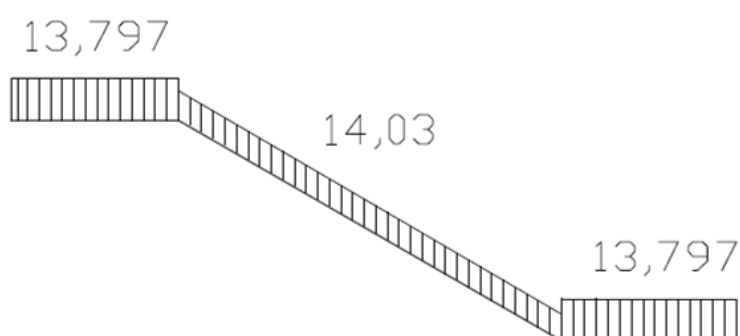
Obrázek 6.6 Znázornění zatížení na schodišťové desce nástupního ramene



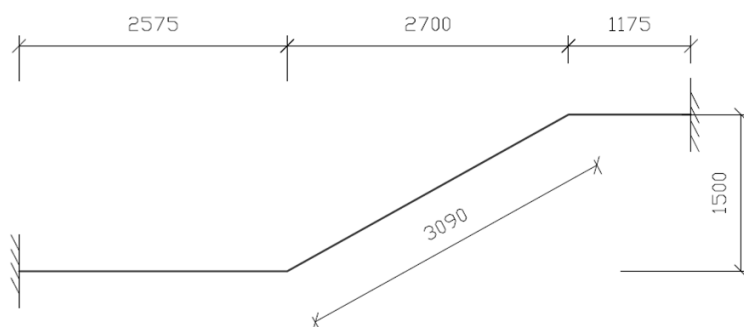
Obrázek 6.7 Ohybové momenty od daného zatížení na nástupním rameni



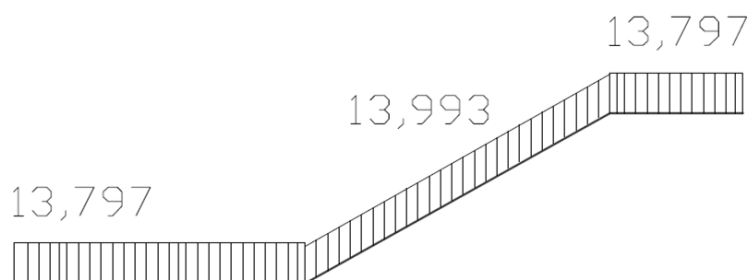
Obrázek 6.8 Statické schéma schodišťové desky výstupního ramene z 1.NP



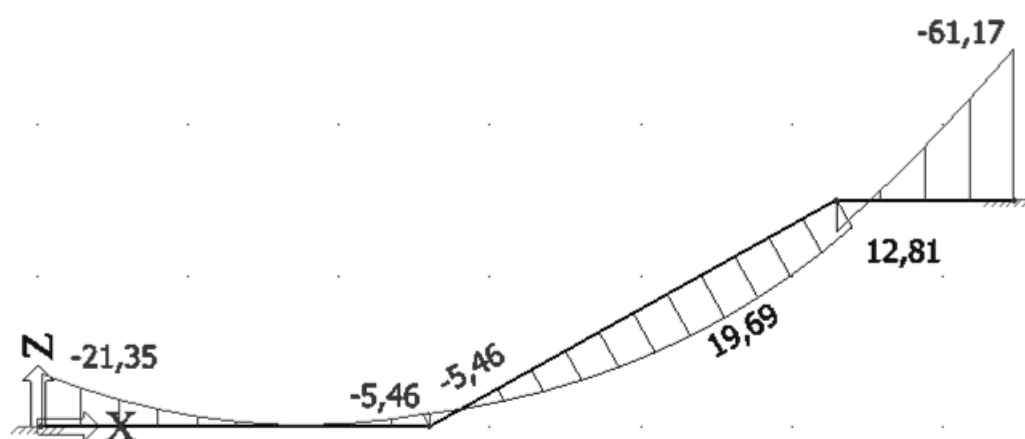
Obrázek 6.9 Znázornění zatížení na schodišťové desce výstupního ramene



Obrázek 6.13 Statické schéma schodišťové desky



Obrázek 6.14 Znázornění zatížení na schodišťové desce



Obrázek 6.15 Ohybové momenty od daného zatížení

6.3 Návrh a posudek vyztužení

Vlastnosti materiálu

$$f_{cd} = 16,67 \text{ MPa}$$

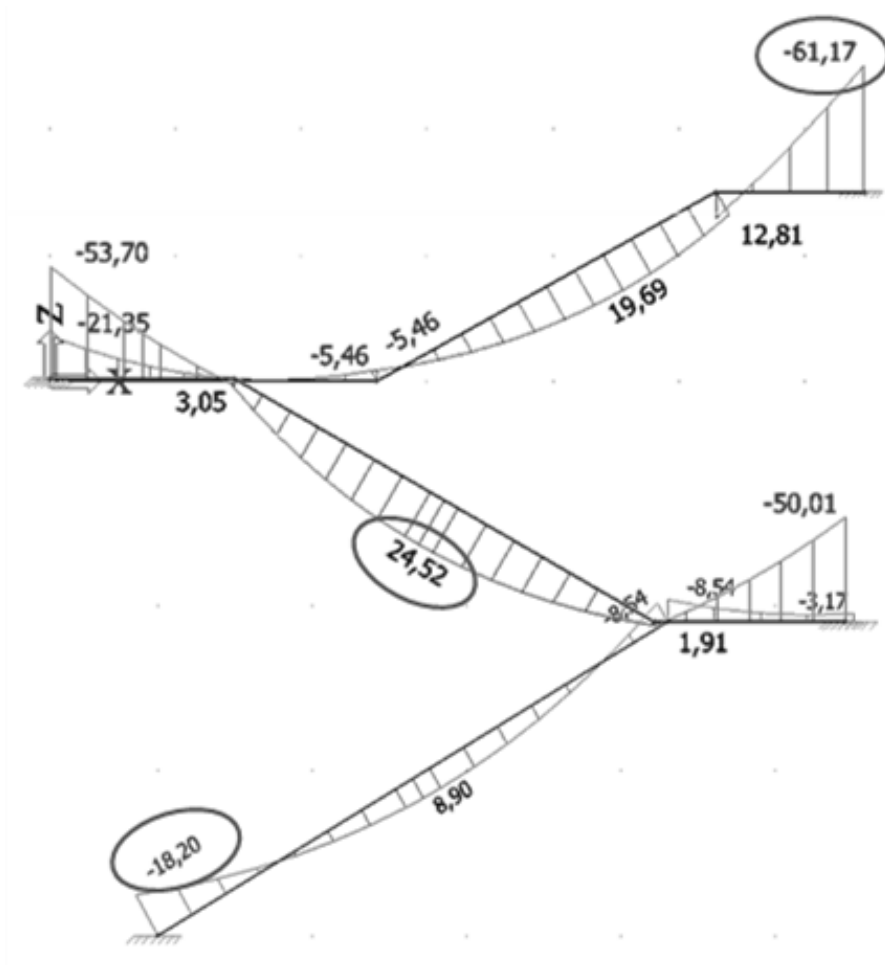
$$f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_M} = \frac{500}{1,15} = 434,783 \text{ MPa}$$

Krytí výztuže

$$c_{nom} = 25 \text{ mm}$$

Rozhodující návrhové momenty

Byly zvoleny 3 rozhodující momenty, jak je znázorněno z obrázku 6.16:



Obrázek 6.16 Souhrnné schéma, znázorňující rozhodující momenty pro všechna tři ramena schodiště

HORNÍ VÝZTUŽ V MÍSTĚ NAPOJENÍ NA ZÁKLAD - VÝZTUŽ I

$$m_{Ed} = -18,2 \frac{kNm}{m} \quad \text{v patě nástupního ramene schodiště v 1.NP}$$

DOLNÍ VÝZTUŽ VE VŠECH RAMENECH - VÝZTUŽ II

$$m_{Ed} = 24,52 \frac{kNm}{m} \quad \text{uprostřed výstupního ramene schodiště v 1.NP}$$

HORNÍ VÝZTUŽ VŠECH PODEST A MEZIPODEST - VÝZTUŽ III

$$m_{Ed} = -61,17 \frac{kNm}{m} \quad \text{v mezipodestě schodiště ve 2.NP}$$

Navrhované výztuže na kritické momenty*HORNÍ VÝZTUŽ V MÍSTĚ NAPOJENÍ NA ZÁKLAD - VÝZTUŽ I*

$$m_{Ed} = -18,2 \text{ kNm}$$

předpoklad: $\emptyset = 8 \text{ mm}$

$$d = h - c_{nom} - \frac{\emptyset}{2} = 200 - 25 - \frac{8}{2} = 171 \text{ mm} = 0,171 \text{ m}$$

Dosazení do vztahů 2.19 až 2.21:

$$A_{s,req} = \frac{m_{Ed}}{0,9 \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{18,2 \cdot 10^3}{0,9 \cdot 0,171 \cdot 434,783 \cdot 10^6} = 2,72 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$s = \frac{\pi \cdot \frac{\emptyset^2}{4}}{A_{s,req}} = \frac{\pi \cdot \frac{0,008^2}{4}}{2,72 \cdot 10^{-4}} = 0,185 \text{ m} \Rightarrow \text{navrhují } 0,18 \text{ m}$$

$$A_s = \frac{1}{s} \cdot \frac{\pi \cdot \emptyset_x^2}{4} = \frac{1}{0,18} \cdot \frac{\pi \cdot 0,008^2}{4} = 2,79 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

Návrh výztuže I: $\emptyset 8/180$ ($A_s = 279 \text{ mm}^2$)

Posudek

Dosazení do 2.22 až 2.24:

$$F_s = A_s \cdot f_{yd} = 2,79 \cdot 10^{-4} \cdot 434,783 \cdot 10^6 = 121\,304 \text{ N} = 121,304 \text{ kN}$$

$$x = \frac{F_s}{0,8 \cdot b \cdot \eta \cdot f_{cd}} = \frac{121,304 \cdot 10^3}{0,8 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 16,66 \cdot 10^6} = 0,009 \text{ m}$$

$$m_{Rd} = F_s \cdot (d - 0,4 \cdot x) = 121,304 \cdot 10^3 \cdot (0,171 - 0,4 \cdot 0,009) = 20\,306 \text{ Nm}$$

$$m_{Rd} = 20,31 \frac{\text{kNm}}{\text{m}} > m_{Ed} = 18,2 \frac{\text{kNm}}{\text{m}}$$

Konstrukce vyhovuje pro dané zatížení.

DOLNÍ VÝZTUŽ VE VŠECH RAMENECH - VÝZTUŽ II

$$m_{Ed} = 24,52 \text{ kNm}$$

předpoklad: $\emptyset = 8 \text{ mm}$

$$d = h - c_{nom} - \frac{\emptyset}{2} = 200 - 25 - \frac{8}{2} = 171 \text{ mm} = 0,171 \text{ m}$$

$$A_{s,req} = \frac{M_{Ed}}{0,9 \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{24,52 \cdot 10^3}{0,9 \cdot 0,171 \cdot 434,783 \cdot 10^6} = 3,66 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$s = \frac{\pi \cdot \frac{\emptyset^2}{4}}{A_{s,req}} = \frac{\pi \cdot \frac{0,008^2}{4}}{3,66 \cdot 10^{-4}} = 0,137 \text{ m} \Rightarrow \text{navrhují } 0,13 \text{ m}$$

$$A_s = \frac{1}{s} \cdot \frac{\pi \cdot \emptyset_x^2}{4} = \frac{1}{0,13} \cdot \frac{\pi \cdot 0,008^2}{4} = 3,87 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

Návrh výztuže II: Ø 8/130 ($A_s = 387 \text{ mm}^2$)**Posudek**

$$F_s = A_s \cdot f_{yd} = 3,87 \cdot 10^{-4} \cdot 434,783 \cdot 10^6 = 168\,261 \text{ N} = 168,261 \text{ kN}$$

$$x = \frac{F_s}{0,8 \cdot b \cdot \eta \cdot f_{cd}} = \frac{168,261 \cdot 10^3}{0,8 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 16,66 \cdot 10^6} = 0,013 \text{ m}$$

$$m_{Rd} = F_s \cdot (d - 0,4 \cdot x) = 168,261 \cdot 10^3 \cdot (0,171 - 0,4 \cdot 0,013) = 27,898 \text{ Nm}$$

$$m_{Rd} = 27,898 \frac{\text{kNm}}{\text{m}} > m_{Ed} = 24,52 \frac{\text{kNm}}{\text{m}}$$

Konstrukce vyhovuje pro dané zatížení.

HORNÍ VÝZTUŽ VŠECH PODEST A MEZIPODEST - VÝZTUŽ III

$$m_{Ed} = -61,17 \text{ kNm}$$

předpoklad: $\emptyset = 12 \text{ mm}$

$$d = h - c_{nom} - \frac{\emptyset}{2} = 200 - 25 - \frac{12}{2} = 169 \text{ mm} = 0,169 \text{ m}$$

$$A_{s,req} = \frac{M_{Ed}}{0,9 \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{61,17 \cdot 10^3}{0,9 \cdot 0,169 \cdot 434,783 \cdot 10^6} = 9,25 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$s = \frac{\pi \cdot \frac{\emptyset^2}{4}}{A_{s,req}} = \frac{\pi \cdot \frac{0,012^2}{4}}{9,25 \cdot 10^{-4}} = 0,122 \text{ m} \Rightarrow \text{navrhují } 0,12 \text{ m}$$

$$A_s = \frac{1}{s} \cdot \frac{\pi \cdot \emptyset_x^2}{4} = \frac{1}{0,12} \cdot \frac{\pi \cdot 0,012^2}{4} = 9,42 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

Návrh výztuže III: Ø 12/120 ($A_s = 942 \text{ mm}^2$)**Posudek**

$$F_s = A_s \cdot f_{yd} = 9,42 \cdot 10^{-4} \cdot 434,783 \cdot 10^6 = 409\,566 \text{ N} = 409,566 \text{ kN}$$

$$x = \frac{F_s}{0,8 \cdot b \cdot \eta \cdot f_{cd}} = \frac{409,566 \cdot 10^3}{0,8 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 16,66 \cdot 10^6} = 0,031 \text{ m}$$

$$m_{Rd} = F_s \cdot (d - 0,4 \cdot x) = 409,566 \cdot 10^3 \cdot (0,169 - 0,4 \cdot 0,031) = 64\,138 \text{ Nm}$$

$$m_{Rd} = 64,138 \text{ kNm} > m_{Ed} = 61,17 \text{ kNm}$$

Konstrukce vyhovuje pro dané zatížení.

6.4 Konstrukční zásady

Omezení množství tahové výztuže

$$A_{s,min} = \max \left\{ 0,26 \cdot \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} \cdot b_t \cdot d \right. \\ \left. 0,0013 \cdot b_t \cdot d \right\} m^2$$

$$A_{s,max} = 0,04 \cdot A_c = 0,04 \cdot 1,0 \cdot 0,20 = 0,008 m^2 = 8\,000 mm^2$$

VÝZTUŽ I

$$A_{s,min} = \max \left\{ 0,26 \cdot \frac{2,6}{500} \cdot 1 \cdot 0,171 = 2,31 \cdot 10^{-4} \right. \\ \left. 0,0013 \cdot 1 \cdot 0,171 = 2,223 \cdot 10^{-4} \right\} m^2 = 2,31 \cdot 10^{-4} m^2$$

$$A_{s,min} = 231 mm^2 \leq A_s = 279 mm^2 \leq A_{s,max} = 8\,000 mm^2$$

Podmínka splněna

VÝZTUŽ II

$$A_{s,min} = 231 mm^2 \leq A_s = 387 mm^2 \leq A_{s,max} = 8\,000 mm^2$$

Podmínka splněna

VÝZTUŽ III

$$A_{s,min} = \max \left\{ 0,26 \cdot \frac{2,6}{500} \cdot 1 \cdot 0,169 = 2,285 \cdot 10^{-4} \right. \\ \left. 0,0013 \cdot 1 \cdot 0,169 = 2,197 \cdot 10^{-4} \right\} m^2 = 2,285 \cdot 10^{-4} m^2$$

$$A_{s,min} = 229 mm^2 \leq A_s = 942,5 mm^2 \leq A_{s,max} = 8\,000 mm^2$$

Podmínka splněna

Omezení výšky tlačené oblasti

VÝZTUŽ I

$$\xi = \frac{x}{d} = \frac{0,009}{0,171} = 0,053 < \xi_{bal} = \frac{700}{700 + f_{yd}} = \frac{700}{700 + 434,783} = 0,617$$

Podmínka splněna

VÝZTUŽ II

$$\xi = \frac{x}{d} = \frac{0,013}{0,171} = 0,076 < \xi_{bal} = \frac{700}{700 + f_{yd}} = \frac{700}{700 + 434,783} = 0,617$$

Podmínka splněna

VÝZTUŽ III

$$\xi = \frac{x}{d} = \frac{0,031}{0,169} = 0,184 < \xi_{bal} = \frac{700}{700 + f_{yd}} = \frac{700}{700 + 434,783} = 0,617$$

Podmínka splněna

Maximální osová vzdálenost výztuže

$$s_{max} = \min \left\{ \frac{2 \cdot h}{250} = \frac{2 \cdot 200}{250} = 400 \right\} mm = 250 mm$$

VÝZTUŽ I

$$s = 180 mm \leq s_{max} = 250 mm$$

Podmínka splněna

VÝZTUŽ II

$$s = 130 mm \leq s_{max} = 250 mm$$

Podmínka splněna

VÝZTUŽ III

$$s = 120 mm \leq s_{max} = 250 mm$$

Podmínka splněna

Minimální (světlá) vzdálenost výztuže

$$s_{min} = \max \left\{ \begin{array}{l} k_1 \cdot \phi = 1 \cdot 12 = 12 \\ d_g + \frac{k_2}{20} = 16 + 5 = 21 \end{array} \right\} mm = 21 mm$$

VÝZTUŽ I

$$s = s - \phi = 180 - 8 = 172 mm > s_{min} = 21 mm$$

Podmínka splněna

VÝZTUŽ II

$$s = s - \phi = 130 - 8 = 122 mm > s_{min} = 21 mm$$

Podmínka splněna

VÝZTUŽ III

$$s = s - \phi = 120 - 12 = 108 mm > s_{min} = 21 mm$$

Kotevní délka**VÝZTUŽ I A II**

Návrhová pevnost betonu v tahu:

$$f_{ctd} = \frac{\alpha_{ct} \cdot f_{ctk0,05}}{\gamma_c} = \frac{1 \cdot 1,8}{1,5} = 1,2 MPa$$

Návrhová hodnota mezního napětí v soudržnosti:

$$f_{bd} = 2,25 \cdot \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot f_{ctd} = 2,25 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1,2 = 2,7 MPa$$

Základní kotevní délka:

$$l_{bd,rqd} = \frac{\phi}{4} \cdot \frac{f_{yd}}{f_{bd}} = \frac{0,008}{4} \cdot \frac{434,783}{2,7} = 0,322 m$$

Kotevní délka:

$$l_{bd} = \alpha_1 \cdot \alpha_2 \cdot \alpha_3 \cdot \alpha_4 \cdot \alpha_5 \cdot l_{bd,rqd} = 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0,322$$

$$l_{bd} = 0,322 m \doteq 350 mm$$

Minimální kotevní délka:

$$l_{bd,min} = \max \left\{ \begin{array}{l} 0,3 \cdot l_{bd,rqd} = 0,3 \cdot 0,350 = 0,105 \\ 10 \cdot \phi = 10 \cdot 0,008 = 0,08 \\ 0,1 \end{array} \right\} m = 0,105 m$$

$$l_{bd} = 350 \text{ mm} > l_{bd,min} = 105 \text{ mm}$$

Podmínka splněna

VÝZTUŽ III

Návrhová pevnost betonu v tahu:

$$f_{ctd} = \frac{\alpha_{ct} \cdot f_{ctk0,05}}{\gamma_c} = \frac{1 \cdot 1,8}{1,5} = 1,2 \text{ MPa}$$

Návrhová hodnota mezního napětí v soudržnosti:

$$f_{bd} = 2,25 \cdot \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot f_{ctd} = 2,25 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1,2 = 2,7 \text{ MPa}$$

Základní kotevní délka:

$$l_{bd,rqd} = \frac{\phi}{4} \cdot \frac{f_{yd}}{f_{bd}} = \frac{0,012}{4} \cdot \frac{434,783}{2,7} = 0,483 \text{ m}$$

Kotevní délka:

$$l_{bd} = \alpha_1 \cdot \alpha_2 \cdot \alpha_3 \cdot \alpha_4 \cdot \alpha_5 \cdot l_{bd,rqd} = 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0,483$$

$$l_{bd} = 0,483 \text{ m} \doteq 500 \text{ mm}$$

Minimální kotevní délka:

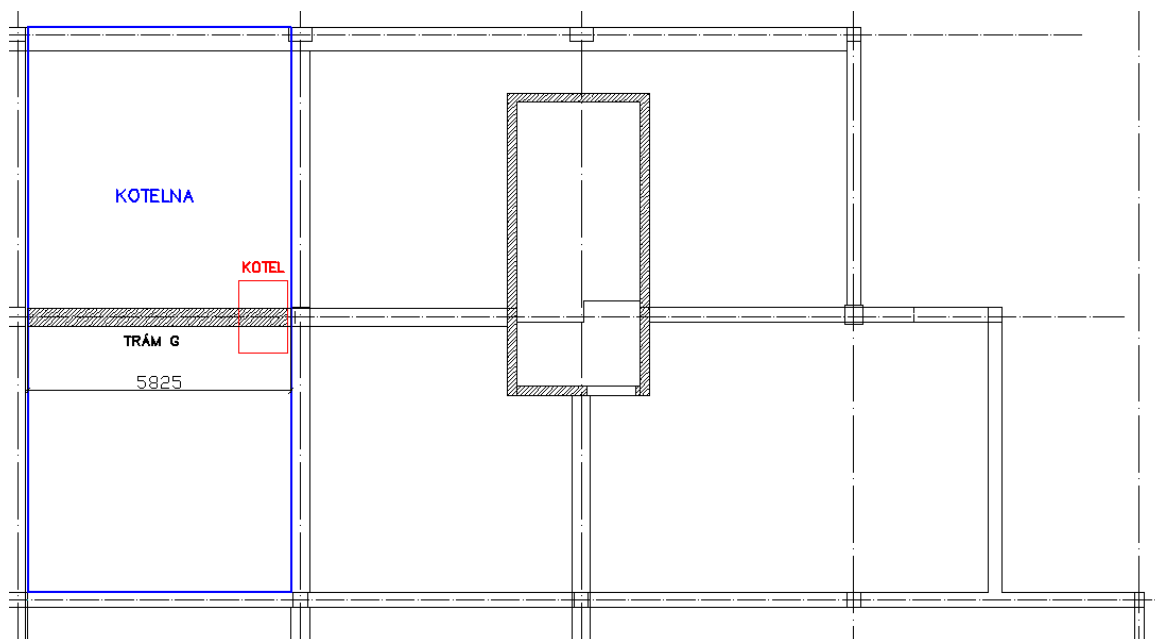
$$l_{bd,min} = \max \left\{ \begin{array}{l} 0,3 \cdot l_{bd,rqd} = 0,3 \cdot 0,483 = 0,145 \\ 10 \cdot \phi = 10 \cdot 0,012 = 0,12 \\ 0,1 \end{array} \right\} m = 0,145 m$$

$$l_{bd} = 500 \text{ mm} > l_{bd,min} = 145 \text{ mm}$$

Podmínka splněna

7 STUDIE NEHODOVÉ NÁVRHOVÉ SITUACE PRO ZATÍŽENÍ VÝBUchem

Pro účely této kapitoly byla přesunuta kotelna z podzemního podlaží do přízemí. Její řez a umístění je znázorněno na obrázcích níže. Kotel byl tedy fiktivně umístěn pod trám G, který se nachází ve středním rámu.



Obrázek 7.1 Schéma umístění kotelny v objektu

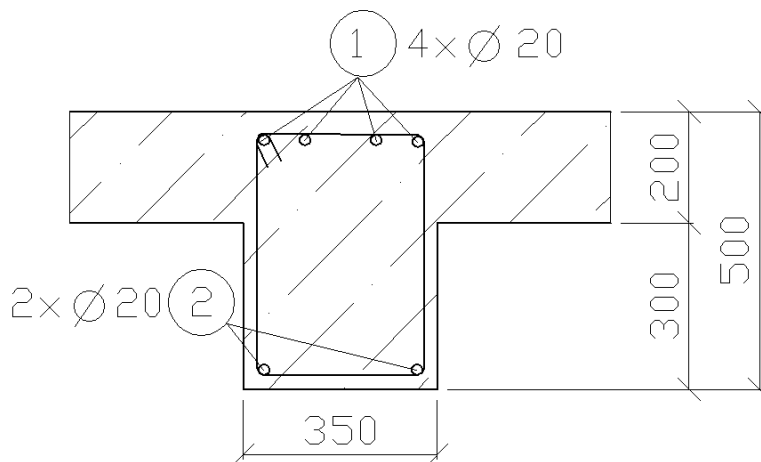
Studie spočívala v zamyšlení se nad možným způsobem posouzení železobetonového trámu na návrhovou nehodovou situaci výbuchu kotle pravděpodobnostní metodou. Cílem tedy bylo nosník posoudit na mezní stav únosnosti dle vztahu 7.1 v situaci, kdy kotel vybuchne.

$$M_{Ed} < M_{Rd} \quad (7.1)$$

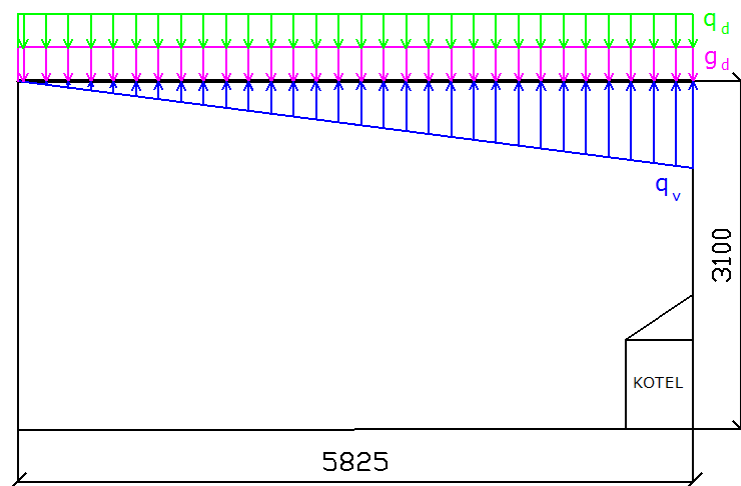
7.1 Teoretické podklady pro výpočet

Stropní nosník byl v kapitole 5 navržen jako železobetonový trám z betonu C 25/30, vyztužený betonářskou výztuží B 500 B. U horního okraje je trám vyztužen čtyřmi pruty a u dolního okraje dvěma pruty o průměru 20 mm. Jeho průřez je zobrazen na obrázku 7.2. Nosník má rozpětí 5 825 m a nachází v místnosti kotelny se světlou výškou 3,1 m. Je zatížen stálým zatížením - vlastní tíhou, tíhou stropní konstrukce a skladbou podlahy (g_d). Dále je nosník zatížen dlouhodobým zatížením - užité zatížení v místnosti nad kotelnou (q_d).

Předpokládané zatížení od tlakové vlny při výbuchu kotle je zjednodušeně uvažováno jako trojúhelníkové spojitě (q_v). Všechna zatížení jsou zobrazena na obrázku 7.3.



Obrázek 7.2 Řez trámem G



Obrázek 7.3 Schéma řezu kotelny

7.2 Místo vzniku maximálního ohybového momentu obecně

Jelikož na trám působí rovnoměrné spojitě zatížení shora a tlaková vlna v podobě trojúhelníkového zatížení na spodní líc trámu, mění se ohybový moment včetně znaménka a je nutné odvodit pro něj vztah obecně. Při běžných podmínkách je trám zatěžován shora a působí na něj kladný moment přenášený, co se týká výztuže, dolní výztuží. V okamžiku kdy nastane výbuch, bude nosník zatěžován dominantním zatížením zespod a hlavní úlohu přebírá horní výztuž.

Pro přehlednost vzorců je stálé zatížení označeno symbolem p .

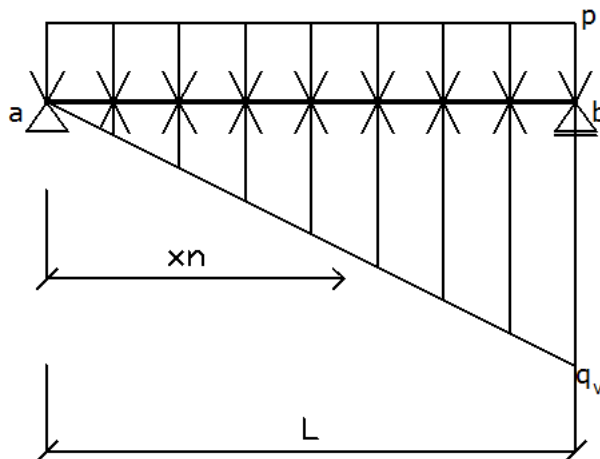
$$p = g_d + q_d$$

Vyjádření reakce z podmínky rovnováhy k bodu b:

$$\sum M_{i,k} = 0 : R_a \cdot L - \frac{p \cdot L^2}{2} + \frac{q_v \cdot L^2}{6} = 0 \quad (7.2)$$

$$R_a = \frac{p \cdot L}{2} + \frac{q_v \cdot L}{6}$$

$$R_a = \frac{L}{2} \cdot \left(p - \frac{q_v}{3} \right) \quad (7.3)$$



Obrázek 7.4 Schéma k výpočtu místa vzniku maximálního momentu

Maximální ohybový moment vzniká v místě nulové posouvající síly:

$$R_a - p \cdot x_n + \frac{q_v \cdot x_n^2}{2 \cdot L} = 0 \quad (7.4)$$

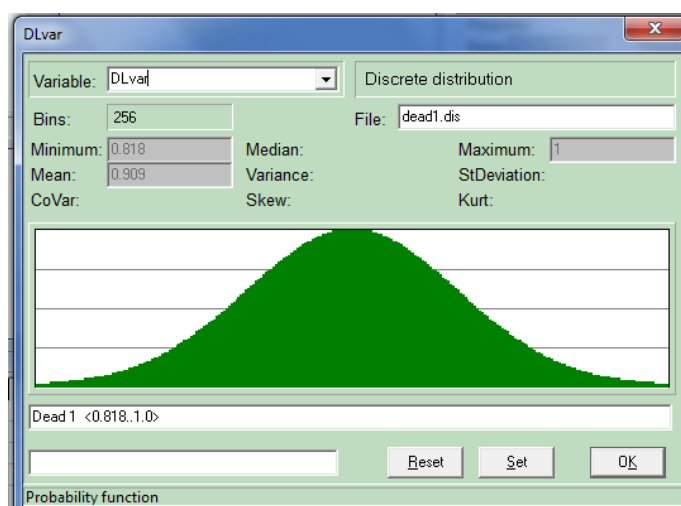
Dosazení vyjádřené reakce do vztahu 7.4:

$$\frac{L}{2} \cdot \left(p - \frac{q_v}{3} \right) - p \cdot x_n + \frac{q_v \cdot x_n^2}{2 \cdot L} = 0$$

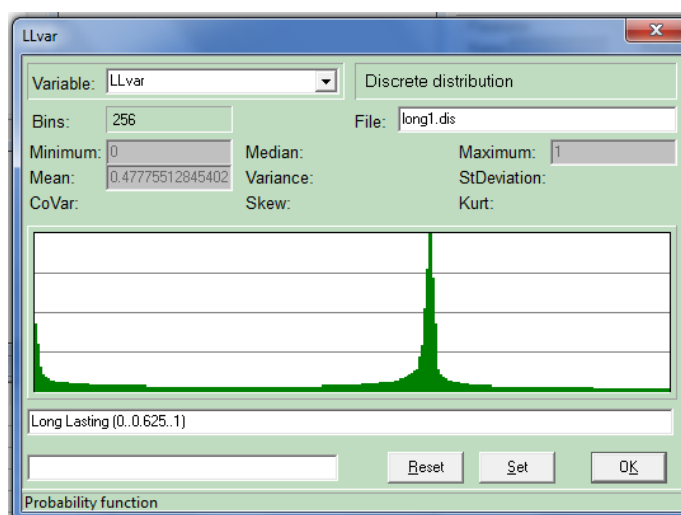
Po úpravě byla získána kvadratická rovnice 7.5, jenž má dva kořeny a jeden z nich je hledané místo vzniku maximálního ohybového momentu.

$$\frac{q_v \cdot x_n^2}{2 \cdot L} - p \cdot x_n + \frac{L}{2} \cdot \left(p - \frac{q_v}{3} \right) = 0 \quad (7.5)$$

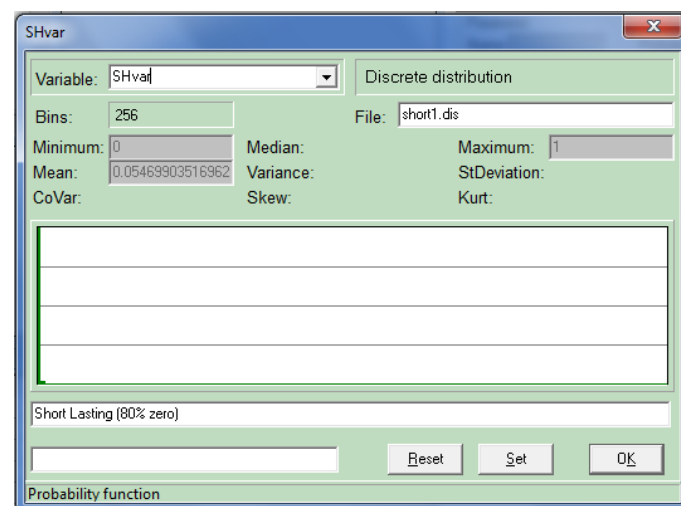
Jelikož se jedná o pravděpodobnostní posouzení, hodnoty zatížení jsou zadány histogramy. Pro jednotlivé typy zatížení jsou histogramy zobrazeny na obrázcích 7.6 až 7.8. Hodnoty zatížení se tedy pohybují v určitém intervalu a proto nelze kvadratickou rovnici vyřešit přímo.



Obrázek 7.5 Histogram pro dlouhodobé zatížení - interval od 0,818 do 1



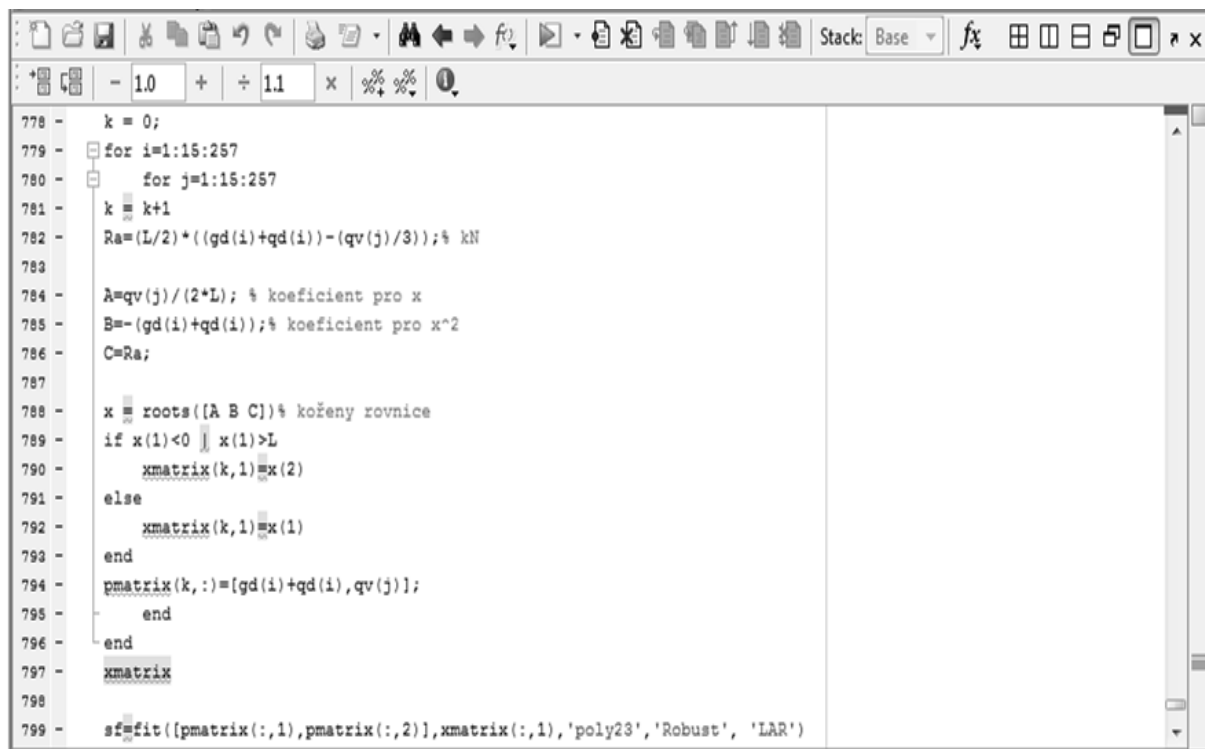
Obrázek 7.6 Histogram pro nahodilé zatížení - interval od 0 do 1



Obrázek 7.7 Histogram pro okamžikové zatížení - interval od 0 do 1

Řešením kvadratické rovnice tedy není konkrétní hodnota, ale funkce závislá na proměnných hodnotách zatížení. Kvadratickou rovnici lze vyřešit například ve výpočetním

programu Matlab. Hodnoty jednotlivých zatížení rozložených do daných intervalů se zadají jako vektory. Zadají se koeficienty kvadratické rovnice ze vztahu 7.5. a výsledkem je matice reálných i nereálných kořenů. Z těchto kořenů je rozhodovací funkcí vybrán ten, který leží na nosníku. Sestaví se matice reálných kořenů a příkazem fit jsou vygenerovány koeficienty polynomu třetího stupně, jenž je rovnicí pro výpočet hledaného místa vzniku maximálního ohybového momentu.



```

778 - k = 0;
779 - for i=1:15:257
780 -     for j=1:15:257
781 -         k = k+1
782 -         Ra=(L/2)*((gd(i)+qd(i))-(qv(j)/3));% kN
783
784 -         A=qv(j)/(2*L); % koeficient pro x
785 -         B=-(gd(i)+qd(i));% koeficient pro x^2
786 -         C=Ra;
787
788 -         x = roots([A B C]);% kořeny rovnice
789 -         if x(1)<0 || x(1)>L
790 -             xmatrix(k,1)=x(2)
791 -         else
792 -             xmatrix(k,1)=x(1)
793 -         end
794 -         pmatrix(k,:)=[gd(i)+qd(i),qv(j)];
795 -     end
796 - end
797 - xmatrix
798
799 - sf=fit([pmatrix(:,1),pmatrix(:,2)],xmatrix(:,1),'poly23','Robust','LAR')

```

Obrázek 7.8 Způsob zadání do programu Matlab pro získání funkce pro místo vzniku maximálního ohybového momentu

7.3 Výpočet

Zatížení od výbuchu

Velikost zatížení od výbuchu bylo získáno z programu Excel[7], v němž jsou naprogramovány vzorce pro výpočty výbuchů (viz obr. 7.4). Jelikož je v zemním plynu převážně zastoupen metan (70 - 90 %), byla tlaková vlna počítána pro tento plyn.

Zjednodušený výpočet tlakové vlny

1. Zadané hodnoty

a) typ nálože / plyn	Metan		
b) vzdálenost objektu od epicentra výbuchu	R	3,1	[m]
c) hmotnost nálože / plynu	W _N	10	[kg]
d) balistický poměr nálože	k _B	0,00	[-]
e) výška ohniska výbuchu nad terénem	h	0,5	[m]

2. Základní údaje

výbuchové teplo	Q _V	55 560	[kJ/kg]
tlakový tritolový ekvivalent	k _{TNT-p}	0,397	[-]
koefficient těsnění nálože	k _E	1,00	[-]
pomocný výpočet C _W (bez vlivu k _G) pro vzdušný výbuch	C _{W1}	4,0	[kg TNT]
pomocný výpočet C _W (bez vlivu k _G) pro pozemní výbuch	C _{W2}	7,9	[kg TNT]
pomocný výpočet R* (bez vlivu k _G) pro vzdušný výbuch	R* ₁	2,0	[m/kg ^{1/3}]
pomocný výpočet R* (bez vlivu k _G) pro pozemní výbuch	R* ₂	1,6	[m/kg ^{1/3}]
pomocný výpočet p+ (bez vlivu k _G) pro vzdušný výbuch	p+ ₁	206,58	[kPa]
pomocný výpočet t+ (bez vlivu k _G) pro vzdušný výbuch	t+ ₁	0,004	[s]
pomocný výpočet N (bez vlivu k _G) pro vzdušný výbuch	N ₁	560,2	[m/s]
koefficient geometrie šíření	k _G	1,50	[-]
hmotnost ekvivalentní nálože	W	5,9	[kg TNT]
redukovaná vzdálenost pro ekvivalentní hmotnost nálože	Z	1,7	[m/kg ^{1/3}]

3. Tlaková vlna

pomocný výpočet p+ (bez vlivu k _G) pro vzdušný výbuch	p+ ₁	206,58	[kPa]
pomocný výpočet p+ (bez vlivu k _G) pro pozemní výbuch	p+ ₂	615,39	[kPa]
přetlak v tlakové vlně	p+	615,39	[kPa]
podtlak v tlakové vlně	p-	19,30	[kPa]
doba trvání přetlaku	t+	0,0040	[s]
doba trvání podtlaku	t-	0,0319	[s]
rychlost čela tlakové vlny	N	560,2	[m/s]
doba nárazu od odpálení	t	0,0055	[s]

Obrázek 7.9 Ukázka výpočtu tlakové vlny pomocí naprogramovaných vzorců v Excelu [7]

Jak je na obrázku 7.4 vyznačeno, hodnota tlaku je 615,39 kPa. Tato hodnota byla převedena na zatížení v jednotkách kN/m vynásobením šířkou trámu:

$$q_v = p^+_2 \cdot b = 615,39 \cdot 0,35 = 215,3865 \frac{kN}{m} \quad (7.6)$$

Roznášejí šířka trámu je 6,025 m. V tomto případě je uvažováno, že tíha desky bude v případě výbuchu působit pro trám příznivě proti tlakové vlně. Zatížení od stropní desky s podlahou je vypočítáno v tabulce 2.1 a od užitého zatížení v tabulce 2.2. Hodnoty z tabulek jsou vynásobeny roznášecí šířkou. Hodnota zatížení od výbuchu je vypočítaná ve vztahu 7.6.

Stálé zatížení

popis	g_k [kN/m]	γ_g [–]	g_d [kN/m]
Vlastní tíha trámu, 350x300 mm, $\rho = 2500 \text{ kg/m}^3$	2,625	1,35	3,544
Stropní deska + podlaha (8,79 kg/m ²)	52,96	1,35	71,5
Σ	55,585		75

Nahodilé - užité

popis	q_k [kN/m ²]	γ_q [–]	q_d [kN/m ²]
Kancelářské prostory - kategorie B (3 kg/m ²)	18,075	1,5	27

Zatížení výbuchem

$$q_v = p^+_2 \cdot b = 615,39 \cdot 0,35 = 215,3865 \frac{kN}{m}$$

Dle výše uvedených histogramů se tyto hodnoty zatížení rozloží podle daných intervalů. Stálé zatížení se pohybuje od 61,35 do $75 \frac{kN}{m}$, nahodilé zatížení od 0 do $27 \frac{kN}{m}$ a okamžikové od 0 do $215,387 \frac{kN}{m}$. Takto byly ve formě vektorů o 257 hodnotách zadány do programu Matlab a jak bylo zmíněno, výsledkem je funkce pro výpočet místa vzniku maximálního ohybového momentu.

```

Linear model Poly23:
sf(x,y) = p00 + p10*x + p01*y + p20*x^2 + p11*x*y + p02*y^2 + p21*x^2*y
          + p12*x*y^2 + p03*y^3
Coefficients (with 95% confidence bounds):
p00 =      2.772   (-0.5263, 6.07)
p10 =     0.005803 (-0.07572, 0.08732)
p01 =    -0.004196 (-0.03357, 0.02518)
p20 =   -1.98e-006 (-0.0004993, 0.0004953)
p11 =  -0.0003153 (-0.0009786, 0.0003479)
p02 =      0.00028 (0.0001993, 0.0003606)
p21 =  -4.645e-007 (-4.399e-006, 3.47e-006)
p12 =   2.279e-006 (1.536e-006, 3.021e-006)
p03 =  -1.377e-006 (-1.538e-006, -1.215e-006)

```

Obrázek 7.10 Polynom a příslušné koeficienty pro výpočet místa vzniku maximálního ohybového momentu

Postup zadání vstupních hodnot a vzorců do programu Antill je patrný na obrázku 7.11 a více rozepsán níže.

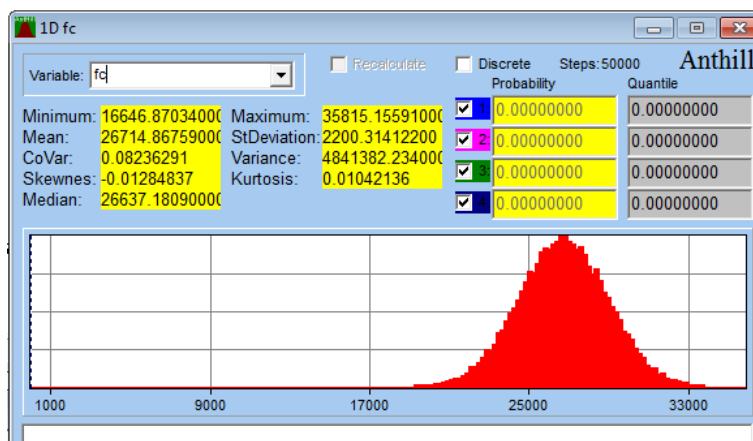


Obrázek 7.11 Zadání vstupních hodnot a vzorců do programu Anthill

Podrobný popis zadání výpočtu do programu Anthill:

- šířka a délka trámu - neměnné konstanty
- pevnost betonu C 25/30

$$f_{cd} = \frac{f_{ck}}{\gamma_M}; \gamma_M = 1,5$$

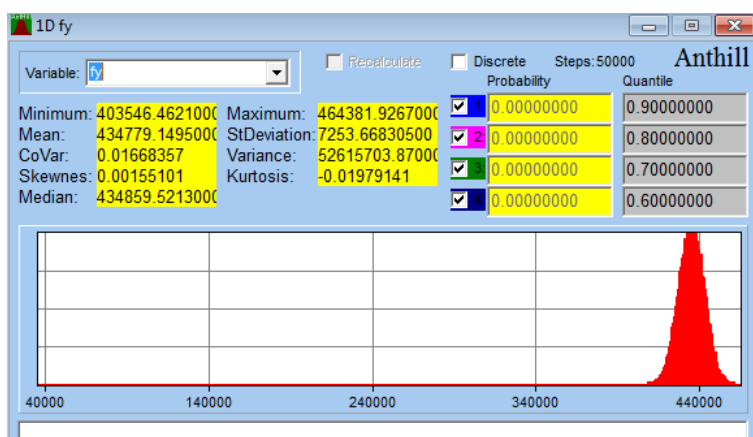


Obrázek 7.12 Histogram pevnosti betonu v tlaku

Pevnost betonu v tlaku byla zadána histogramem vytvořeném v programu HistAn zadáním střední hodnoty 40,08 a směrodatné odchylky 3,28. Data jsou získaná z výsledků zkoušek materiálových charakteristik[8].

- pevnost betonářské oceli B 500 B

$$f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_M}; \gamma_M = 1,15$$



Obrázek 7.13 Histogram pevnosti oceli v tahu

- Pevnost betonářské oceli byla zadána histogramem vytvořeném v programu HistAn.

- Únosnost horní výztuže

údaje z tabulky 5.2:

$$d_1 = 0,449 \text{ m}$$

$$A_{s1} = 0,001257 \text{ m}^2$$

$$F_{s1} = A_{s1} \cdot f_{yd}$$

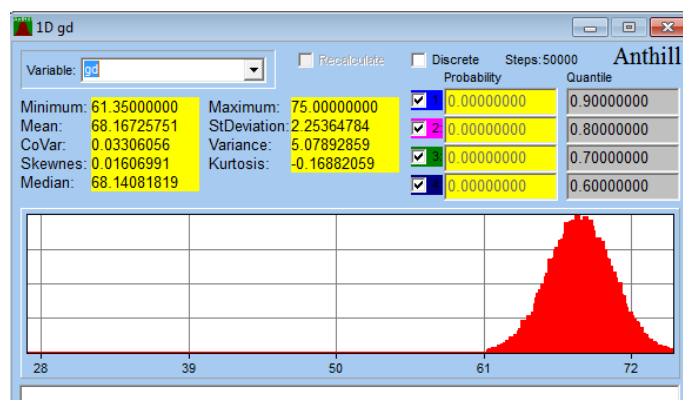
$$X_1 = \frac{F_{s1}}{0,8 \cdot 1 \cdot b \cdot f_{cd}}$$

$$M_{R1} = F_{s1} \cdot (d_1 - 0,4 \cdot X_1)$$

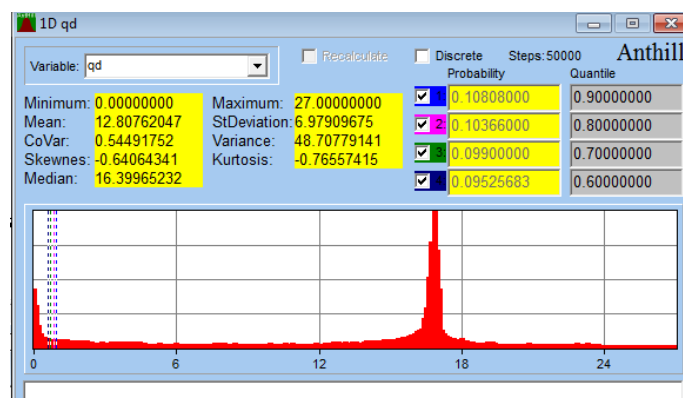
- Únosnost dolní výztuže M_{R2}

obdobně jako M_{R1}

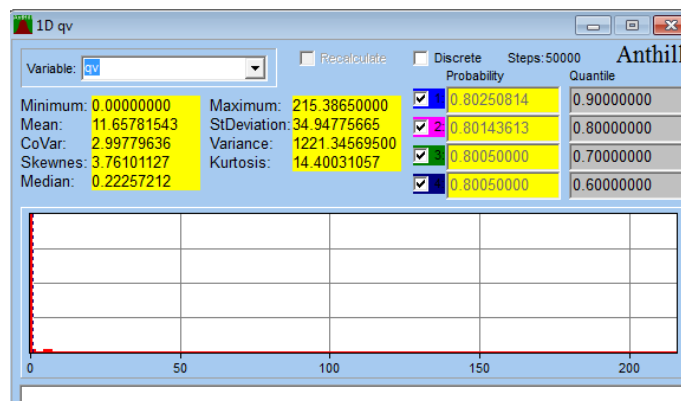
- převedení hodnot zatížení na histogramy



Obrázek 7.14 Stálé zatížení



Obrázek 7.15 Nahodilé zatížení



Obrázek 7.16 Okamžikové zatížení

- zadání polynomu pro výpočet místa maximálního momentu, vypočítaného v programu Matlabu, viz obrázek 7.9

- zadání výpočtu reakce

$$R_a = \frac{L}{2} \cdot \left(p - \frac{q_v}{3} \right)$$

- Výpočet maximálního ohybového momentu

- Rozhodovací funkce

Pokud bude moment záporný, vrátí funkce neg() hodnotu 1 a funkce pos()=0 a zero()=0. Zůstane pouze moment únosnosti horní výztuže. Naopak při kladném momentu, se provede posudek pro dolní výztuž.

- Funkce spolehlivosti

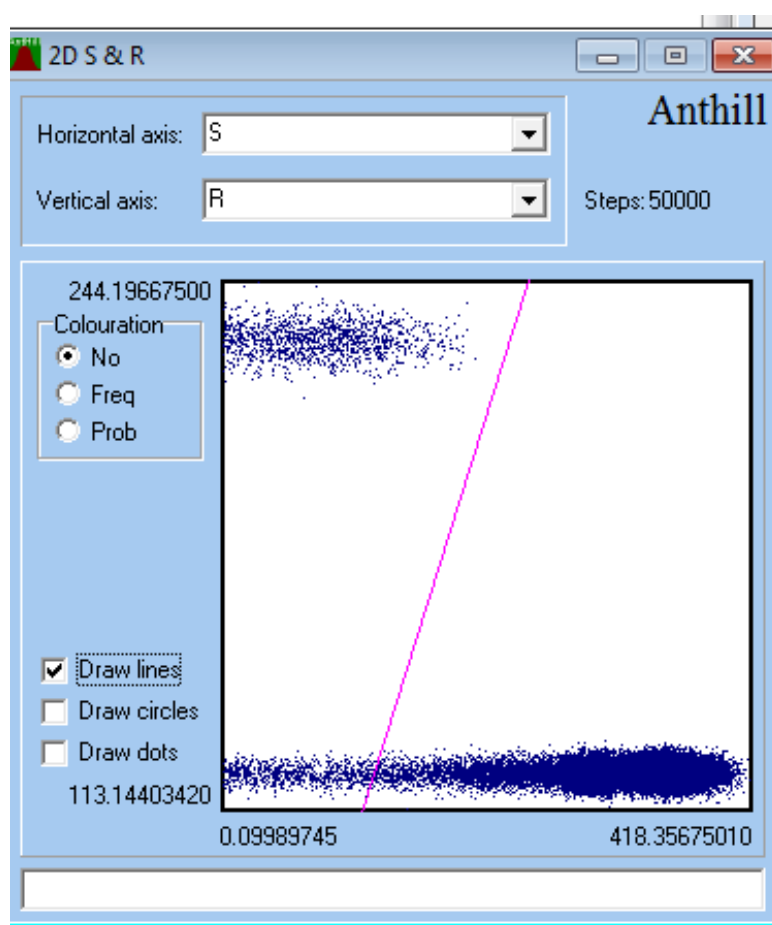
FS....funkce spolehlivosti

R....odolnost konstrukce

S...účinek zatížení

7.4 Zhodnocení

Je pravdou, že by bylo vhodné příklad přepočítat pro více než uvedených 50 000 kroků. Grafické znázornění ale i pro tak málo kroků jasně ukazuje, že myšlenka nebyla zcela správná. V horní části grafu jsou výsledky pro únosnost horní výztuže v kombinaci s absolutní hodnotou od zatížení výbuchem. Tím, že byla uvažovaná tak velká plocha desky, neměl výbuch žádný zvláštní účinek. Na druhou stranu je deska započítána i při běžné situaci a to je problém, neboť je počítáno, že všechno stálé zatížení přenáší pouze dolní výztuž a jak vidíme v dolní oblasti grafu, účinek zatížení je mnohem vyšší než únosnost.



Obrázek 7.17 Vykreslení výsledků pro 50 000 kroků

8 ZÁVĚR

Cílem bylo navrhnout a posoudit nosnou železobetonovou konstrukci části budovy. Byl zpracován návrh a posudek nosné rámové konstrukce, plošné konstrukce stropů a návrhy jednotlivých schodišťových ramen. Všechny navržené konstrukce vyhovují mezním stavům únosnosti a použitelnosti dle platných norem. Byly ověřeny také konstrukční zásady.

V závěru práce je zpracována studie na nehodovou návrhovou situaci výbuchu kotle s použitím pravděpodobnostní metody výpočtu. V programu Matlab byla vytvořena funkce místa vzniku maximálního momentu, závislá na velikosti rovnoměrného a trojúhelníkového spojitého zatížení. Tato část práce může sloužit jako podklad pro výpočet pravděpodobnosti poruchy konstrukce při výbuchu, bude-li lépe zohledněno působení stropní desky.

ZDROJE

- [1] ČSN EN 1991 Eurokód 1: *Zatížení stavebních konstrukcí*. Praha: ČNI, 2010.
- [2] ČSN EN 1992 - 1 - Eurokód 2: *Navrhování betonových konstrukcí, Část 1-1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby*. Praha: ČNI, 2011.
- [3] ČSN EN 1990 Eurokód: *Zásady navrhování konstrukcí*. 2. Praha: ČNI, 2011.
- [4] *Stropní konstrukce* [online]. Dostupné z: <http://fast10.vsb.cz/studijni-materialy/ps2/stropni-konstrukce.html>
- [5] *Nosné konstrukce* [online]. [cit. 2016-04-25]. Dostupné z: http://www.fce.vutbr.cz/BZK/simunek.p/AF01/AF01_3prednaska.pdf
- [6] *Použitelnost* [online]. [cit. 2016-04-25]. Dostupné z: <http://web.cvut.cz/ki/files/Betkon7.pdf>
- [7] MYNARZ, Miroslav. *Specifické posouzení vysoce rizikových podmínek požární bezpečnosti s využitím postupů požárního inženýrství: Příloha 8.3 - Výpočtová aplikace*. Ostrava, 2014.
- [8] SLÁNSKÝ, Bohuslav. Histogramy materiálových charakteristik pro pravděpodobnostní posuzování mostů. In: *Pravděpodobnostní posuzování konstrukcí* [online]. Praha, 2007 [cit. 2016-05-01]. Dostupné z: <http://fast10.vsb.cz/konecny/files/ppk/SLANSKY.pdf>

PŘÍLOHY

Podklady

Část technické zprávy

Výřez půdorysu 1.NP

Výřez půdorysu 2.NP

Výřez půdorysu 3.NP

Výřez půdorysu 4.NP

Výřez řezu

Výstupy z programu Scia Engineer

Výpisy kombinací pro krajní rám

Výpisy kombinací pro střední rám

Výpisy kombinací pro rám ve směru y

Výkresy

Výkres č.1: Stropní deska nad 1.NP - dolní výztuž

Výkres č.2: Stropní deska nad 1.NP - horní výztuž

Výkres č.3: Výztuž schodiště z 2.NP - nástupní rameno

Výkres č.4: Výztuž schodiště z 1.NP - výstupní rameno

Výkres č.5: Výztuž schodiště z 1.NP - nástupní rameno

Výkres č.6: Výztuž sloupu 10

Výkres č.7: Výztuž trámu A - C